



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UNB
FACULDADE UNB GAMA – FGA
ENGENHARIA DE ENERGIA

**CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DOS ENDOCARPOS
DE BURITI E BABAÇU PARA FINS ENERGÉTICOS**

Pedro Henrique de Queiroz Rocha

Prof.^a Juliana Petrocchi Rodrigues

Brasília, DF 2018



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

Faculdade UnB Gama

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DOS ENDOCARPOS
DE BURITI E BABAÇU PARA FINS ENERGÉTICOS**

Pedro Henrique de Queiroz Rocha

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Juliana Petrocchi Rodrigues

Brasília, DF

2018

CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DOS ENDOCARPOS DE BURITI E BABAÇU PARA FINS ENERGÉTICOS

CIP – Catalogação Internacional da Publicação*

Queiroz Rocha, Pedro Henrique

Caracterização e análise dos endocarpos de buriti (*Mauritia flexuosa*) e babaçu (*Attalea speciosa*) para fins energéticos / Pedro Henrique de Queiroz Rocha. Brasília: UnB, 2018.

Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília

Faculdade do Gama, Brasília, 2018. Orientação:

Prof.^a Dr.^a Juliana Petrocchi Rodrigues.

1. Babaçu. 2. Buriti. 3. Pirólise. 4. Carvão
I. Petrocchi Rodrigues, Juliana. II. Doutora.

CDU Classificação

**CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DOS ENDOCARPOS DE BURITI E BABAÇU
PARA FINS ENERGÉTICOS**

PEDRO HENRIQUE DE QUEIROZ ROCHA

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em (data da aprovação 17/12/2018) apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Prof. Dr.^a Juliana Petrocchi Rodrigues, UnB/ FGA
Orientador

Prof. Dr.^a Roseany V. Vieira Lopes, UnB/ FGA
Membro Convidado

Prof. Dr. Fábio Cordeiro de Lisboa, UnB/ FGA
Membro Convidado

Brasília, DF

2018

Dedico este trabalho a todas as pessoas que um dia já me ajudaram e me incentivaram de alguma forma, tanto para o meu crescimento profissional quanto pessoal.

AGRADECIMENTOS

Sempre fui um aluno muito tímido na escola e mesmo assim fiz grandes amizades que levo até hoje. Em tempos de escola pensava que eu não fosse bom em nada, não sei tocar nenhum instrumento musical, não sou bom de bola, mas descobri que sou bom em tentar, em persistir, perseverar... “Aprender a aprender” foi uma lição que a UnB me ensinou, e lecionando pela Exponencial Aulas aprendi que “Aprender a Ensinar” é onde realmente podemos fazer a diferença!

O esforço deste trabalho é fruto da cooperação de muitos envolvidos, os quais devo bastante, tanto na vida acadêmica, quanto na parte pessoal. O resultado não se encontra somente nestas folhas, mas, também, na minha construção como pessoa e profissional.

Agradeço primeiramente a Deus por me ensinar a perseverar e por mais uma nova conquista dentro dessa árdua caminhada que está sendo minha vida, também à Nossa Senhora que sempre me protegeu e acolheu. Caminhada na qual nunca foi fácil, mas sempre com suporte, oração e incentivo de meus pais Milton e Claudete fui construindo meu caráter e minha vida profissional aos poucos dentro da engenharia.

Gostaria também de agradecer à minha namorada Géssica e ao meu filho Rafael que proporcionaram uma causa e um propósito maior dentro da jornada de graduação que foi a constituição de nossa família.

Com muita admiração e apreço eu agradeço aos meus amados irmãos Mário, Milton Junior, Matheus e Lucas por principalmente me mostrarem virtudes, na qual posso aprender com cada um. Aos meus irmãos do coração e grandes amigos que a vida me deu, agradeço ao Gustavo, João, Lucas O., Vitinho, Ulisses, Rodrigo, Thaíza e tantos outros. Meus grandes amigos de engenharia (Diego, Calile, Paulo, Frota, Jair, Bia, Willian) sabem o quanto é dolorosa esta jornada em que cada escolha há uma renúncia e ainda assim tornaram este sonho possível.

Agradeço à minha orientadora Juliana Petrocchi, aos professores Fábio Lisboa e Roseany Lopes por suas orientações, ensinamentos, e por acreditarem em meu potencial para conseguir realizar a escrita deste trabalho. Agradeço imensamente à Paula, ao Lincon Araújo e à professora Rose que me ajudaram nas análises que ocorreram nos laboratórios da FGA, ao Bruno Chaves do Laboratório de Produtos Florestais do SFB/IBAMA, à professora Sarah Brum e especialmente à Isabela Matias que me ajudou bastante nas análises realizadas no Laboratório de Materiais e Combustíveis – Instituto de Química da UnB.

Ao Ministério de Minas e Energia e ao meu coordenador de estágio, Matheus Bodnar, que me ensinaram a real essência de um engenheiro de energia.

Agradeço à Universidade de Brasília pela formação de caráter e responsabilidade, por me dar as oportunidades de tudo que já conquistei e hei de conquistar, e por tornar o meu sonho possível e a todos que não foram mencionados, mas que, de alguma forma, contribuíram para o sucesso deste trabalho.

*Amanhã já não sei.
É a despedida daquilo que sou
E o recomeço daquilo que fui.
É apenas o primeiro passo
De outrem que ainda não conheço.*

J. Almeida

RESUMO

A grande demanda de energia no mundo gera oportunidade na criação de novas fontes alternativas, impulsionando cada vez mais o desenvolvimento tecnológico na produção de combustíveis e processos de conversão energética. Assim, a biomassa exerce um papel relevante, sendo considerada uma das fontes de energia renovável mais importantes do Planeta Terra. Dentre as biomassas, os resíduos florestais estão se tornando cada vez mais atrativos economicamente e socialmente para geração de energia. Com o intuito de valorizar as culturas do bioma brasileiro, o presente estudo é direcionado na caracterização dos endocarpos do Buriti e do Babaçu como fontes energéticas em processos termoquímicos para geração de energia. Foram realizadas análises químicas para quantificar a porcentagem de celulose e lignina presentes na biomassa, análises imediatas para determinar os teores de umidade, cinzas e voláteis, análises térmicas, (TG) e (DTG), para determinar as faixas onde os eventos endotérmicos ocorrem e as respectivas perdas de massa, e o poder calorífico para determinar a quantidade de energia por massa para o endocarpo de cada palmácea. É uma estratégia de poder aumentar a geração energética brasileira, sem aumentar a área cultivada ou sem competir com a indústria alimentícia. Dentre as opções de aproveitamento das biomassas lignocelulósicas, os processos termoquímicos permitem a obtenção de produtos com potencial e características energéticas, dentre elas, o processo de pirólise tem grande destaque. Sendo que, para os endocarpos utilizados, os resultados expressos demonstraram uma forte tendência para conversão de energia por meio da carbonização.

Palavras-chave: Processos Termoquímicos, Análise Imediata, Análise Química, Poder Calorífico, TG, DTG, Pirólise, Carvão, Carbonização, Biomassa lignocelulósica, Caracterização, Endocarpo, Buriti, Babaçu.

ABSTRACT

The great energy demand in the world generates an opportunity in the creation of new alternative sources, pushing more and more the technological development in the production of fuels and energetic conversion processes. Thus, biomass plays a relevant role, being considered one of the most important sources of renewable energy on Planet Earth. Among biomasses, forest residues are becoming increasingly attractive economically and socially for energy generation. In order to valorize the Brazilian biome cultures, the present study is aimed at characterizing the Buriti and Babassu endocarps as energy sources in thermochemical processes for energy generation. Ultimate analyzes were performed to quantify the percentage of cellulose and lignin present in the biomass, proximate analyzes to determine the moisture, ash and volatile contents, thermal analyzes, (TG) and (DTG), to determine the ranges where endothermic events occur and the respective mass losses, and the calorific value to determine the amount of energy per mass for the endocarp of each palmácea. It is a strategy of being able to increase Brazilian energy generation, without increasing the cultivated area or without competing with the food industry. Among the options for the use of lignocellulosic biomass, thermochemical processes allow the production of products with potential and energetic characteristics, among them, the pyrolysis process is highlighted. For the endocarps used, the results expressed showed a strong tendency to convert energy through carbonization.

Keywords: Thermochemical Processes, Proximate Analysis, Ultimate Analysis, Calorific Power, TG, DTG, Pyrolysis, Coal, Carbonization, Lignocellulosic Biomass, Characterization, Endocarp, Buriti, Babassu.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribuição da matriz energética brasileira em 2018.....	8
Figura 2: Matriz energética veicular no Brasil.....	9
Figura 3: Palmeira e buriti	12
Figura 4: Palmeira e babaçu	14
Figura 5: Coco do babaçu	15
Figura 6: Segregação das características da maçã	15
Figura 7: Alterações estruturais do complexo celulose-hemicelulose-lignina determinadas pelo pré-tratamento	16
Figura 8: Fontes de biomassa.....	18
Figura 9: Diagrama dos processos de conversão energética da biomassa	19
Figura 10: Diagrama processo termoquímico de pirólise	22
Figura 11: Resíduo do endocarpo do buriti antes e após o processo de moagem....	24
Figura 12: Resíduo do endocarpo do babaçu antes e após o processo de moagem	24
Figura 13: Agitador de peneira Bertel.....	25
Figura 14: Cadinhos dentro da mufla para análise de voláteis.....	29
Figura 15: Processo de caracterização da holocelulose	31
Figura 16: Filtragem da amostra por sucção	32
Figura 17: Secagem da holocelulose na estufa.....	32
Figura 18: Filtragem da amostra em cadinho de placa porosa.....	33
Figura 19: Lignina insolúvel.....	34
Figura 20: Tratamento dos pellets para o calorímetro	38

Figura 21: Curvas de TG e DTG do endocarpo do babaçu em atmosfera inerte de nitrogênio.....44

Figura 22: Curvas de TG e DTG do endocarpo do buriti em atmosfera inerte de nitrogênio.....44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Teor de umidade de algumas biomassas.....	26
Tabela 2: Teor de Cinzas de algumas biomassas.....	28
Tabela 3: Teor de Voláteis de algumas biomassas.....	28
Tabela 4: Teor de Carbono Fixo em algumas biomassas	30
Tabela 5: Resultados da análise imediata.....	39
Tabela 6: Teor de umidade do babaçu e buriti	40
Tabela 7: Teor de cinzas do babaçu e buriti.....	41
Tabela 8: Teor de voláteis do babaçu e buriti.....	42
Tabela 9: Teor de carbono fixo do babaçu e buriti	42
Tabela 10: Resultado das análises químicas dos endocarpos de buriti e babaçu	43
Tabela 11: Degradação das amostras de TG em atmosfera inerte.....	45
Tabela 12: Resultado da análise calorífica para os endocarpos de babaçu e buriti, respectivamente	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica;
ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis;
BEN – Balanço Energético Nacional;
CCC – Conta do Consumo de Combustíveis;
CCEE – Câmara De Comercialização De Energia Elétrica;
CDE – Conta de Desenvolvimento Energético;
CNI – Confederação Nacional da Indústria;
COBEQ – Congresso Brasileiro De Engenharia Química;
DTG – Derivada primeira da curva de TG;
FGA – Faculdade do Gama;
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis;
IQ – Instituto de Química;
ISO – *International Organization for Standardization*;
ISPN – Instituto Sociedade, População e Natureza;
LMC – Laboratório de Materiais e Combustíveis;
LPF – Laboratório de Produtos Florestais;
Mesh – Número de malhas por polegada linear;
MME – Ministério de Minas e Energia;
Mt – Milhões de toneladas;
P&D – Pesquisa & Desenvolvimento;
PROÁLCOOL – Programa Nacional do Alcool;
PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica;
SFB – Serviço Florestal Brasileiro;
SIPAE – Sistema Integrado de Produção de Alimentos e Energia;
TG – Termogravimetria;
UnB – Universidade de Brasília.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	1
2. OBJETIVOS.....	5
2.1 OBJETIVO GERAL.....	5
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
3.1 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA E MUNDIAL	6
3.2 GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DA BIOMASSA.....	10
3.3 BURITI.....	12
3.7 BABAÇU.....	13
3.4 CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA	16
3.5 PROCESSOS DE TRANSFORMAÇÃO DA BIOMASSA	19
3.6 PIRÓLISE	21
4. MATERIAL E METODOLOGIA EXPERIMENTAL	24
4.1 MATERIAL	24
4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DO BURITI E BABAÇU	25
4.2.1 <i>Análise Imediata</i>	26
4.2.2 <i>Análise Química</i>	31
4.2.3 <i>Análise Térmica</i>	37
4.2.4 <i>Poder Calorífico</i>	37
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.1 ANÁLISE IMEDIATA.....	39
5.1.1 <i>Teor de Umidade</i>	40

5.1.2	<i>Teor de Cinzas</i>	40
5.1.3	<i>Teor de Voláteis</i>	41
5.1.4	<i>Teor de Carbono Fixo</i>	42
5.2	ANÁLISE QUÍMICA	43
5.3	ANÁLISE TÉRMICA.....	43
5.3.1	<i>Termogravimetria e Derivada termogravimétrica</i>	43
5.4	PODER CALORÍFICO SUPERIOR.....	46
5.4.1	<i>Poder Calorífico Superior</i>	46
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
7.	REFERÊNCIAS	50

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Atualmente o Planeta Terra é afetado por vários problemas ambientais, muitos deles provocados por diversas ações humanas. Estes problemas são oriundos da poluição, superpopulação, mudanças climáticas, chuva ácida, poluição da água, desmatamentos e aquecimento global. O planeta Terra está à beira de uma grave crise ambiental. Problemas ambientais atuais tornam-nos vulneráveis a desastres e tragédias, agora e no futuro (MATTEI, 2010).

Uma das variáveis para definir um país como desenvolvido é a facilidade de acesso da população aos serviços de infraestrutura, como saneamento básico, transportes, telecomunicações e energia. O primeiro está diretamente relacionado à saúde pública. Os dois seguintes, à integração nacional. Já a energia é o fator determinante para o desenvolvimento econômico e social ao fornecer apoio mecânico, térmico e elétrico às ações humanas. A necessidade por energia aumenta gradativamente junto com os problemas ambientais, porém a consciência do problema do aquecimento global aumenta as tentativas de mudar esse cenário. Os principais esforços concentram-se normalmente no avanço das tecnologias que permitem a diminuição do consumo de energia, ao mesmo tempo em que aumenta a eficiência de conversão e utilização de energia, bem como a busca de combustíveis com menor teor de carbono e sistemas de tecnologia capazes de capturar e armazenar CO₂. Essa tendência está ocorrendo no Brasil em uma velocidade mais acelerada do que a média global (ANEEL, 2008).

Os principais insumos energéticos utilizados nas indústrias mundiais, como o petróleo, o gás natural e o carvão, são fontes finitas de energia e que prejudicam as questões socioambientais. Mesmo assim, apresentam elevados índices de consumo, principalmente nos países emergentes (CNI, 2007). A dificuldade encontra-se em procurar novas fontes de energias que não prejudiquem o meio ambiente, sendo assim, sustentáveis e ambientalmente corretas. Seguindo este contexto, o Brasil é um país que tem elevado potencial para geração de energias alternativas. País que apresenta grandes áreas de terras férteis que podem ser aproveitadas para produção de biomassa; grande capacidade de geração de energia hidráulica; tanto quanto clima

e ventos favoráveis para energia eólica; além de boa incidência de radiação solar (MME e EPE, 2015).

Dentro dos mais distintos recursos renováveis no planeta, a biomassa é o que merece maior destaque, visto que as biomassas podem ser de diferentes fontes (resíduos sólidos urbanos, resíduos animais, resíduos vegetais, resíduos industriais e resíduos florestais). A utilização de alimentos como matéria-prima para combustível entra em conflito direto com o consumo dos mesmos e representa um impacto negativo nas áreas agrícolas (MATTEI, 2010).

Qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica é classificada como biomassa. De acordo com a sua origem, pode ser: florestal (madeira, principalmente), agrícola (soja, arroz e cana-de-açúcar, entre outras) e rejeitos urbanos e industriais (sólidos ou líquidos, como o lixo). Os derivados obtidos dependem tanto da matéria-prima utilizada (cujo potencial energético varia de tipo para tipo) quanto da tecnologia de processamento para obtenção dos energéticos. Essa conversão também pode ser realizada por processos termoquímicos (gaseificação, combustão e pirólise) ou por processos biológicos (digestão anaeróbia e fermentação). A biomassa já é uma fonte relevante na matriz energética brasileira, e é principalmente extraída do setor de açúcar e etanol (S. PAUL, A. DUTTA, 2017).

A biomassa vegetal é dividida em três macromoléculas: celulose (polímero linear de moléculas de glicose); hemicelulose (polissacarídeo não celulósico) e lignina (estrutura rígida formada por moléculas polinucleadas); além de extrativos e materiais inorgânicos. No Brasil, devido à sua abundância, esta lignocelulose torna-se um produto intermediário na produção de biocombustíveis com diferentes maneiras possíveis (HASSAN, S.S., WILLIAMS, G.A. e JAISWAL, A.K., 2018).

A biomassa pode ter sua lignocelulose quebrada e, por diversos processos, é capaz de ser convertida em biocombustível através da queima para geração de calor e eletricidade ou conversões por rotas termoquímicas e bioquímicas, para dar origem a biocombustíveis nas formas sólida (por exemplo, o carvão), líquida (biodiesel, bioóleo, metanol e etanol) e gasosa (metano e hidrogênio) (HASSAN, S.S., WILLIAMS, G.A. e JAISWAL, A.K., 2018).

As principais variações termoquímicas de processamento de biomassa são a combustão, a gaseificação e a pirólise. Segundo (CONSUEGRA, 2013) combustão é um fenômeno complexo envolvendo transferências de calor e massa em reações químicas, havendo, na queima de combustíveis, reações do carbono, hidrogênio e enxofre com o oxigênio, liberando grandes quantidades de energia, podendo ser aproveitada na produção de calor, enquanto a gaseificação consiste na conversão de biomassas carbonáceas em gases combustíveis, como por exemplo, H_2 , CO , CO_2 e CH_4 , podendo-se utilizar ou não de atmosfera oxidante, a temperaturas mais elevadas que as utilizadas na pirólise (ZHANG, 2010).

A vantagem da pirólise é que essa rota pode-se obter biocombustíveis sólido e líquido. Este processo envolve processos de transferência de calor e massa, e ainda ocorre reações químicas que geram misturas complexas de produtos. A formação do bioóleo decorre de biomassas com elevados teores de hemicelulose e celulose. A fixação da cadeia carbônica se deve à elevada concentração de lignina, processo que facilita a geração do carvão vegetal através da biomassa. O bioóleo pode ser utilizado na mistura com a gasolina por apresentar aspectos físicos e químicos semelhantes ao álcool etílico anidro combustível comercializado no Brasil (ROCHA, PÉREZ, *et al.*, 2010).

As palmeiras da Amazônia apresentam uma quantidade farta de frutos, os quais apresentam fontes alternativas de óleo vegetal de alto valor nutritivo. O buriti (*Mauritia flexuosa*) é um destaque, se tratando de biomassa vegetal, por ser uma espécie que tem capacidade de habitar em solos úmidos e ácidos de baixa fertilidade. Palmeira que pode ser encontrada facilmente nas florestas e apresenta ampla distribuição na América do Sul (Brasil, Bolívia, Colômbia, Equador, Venezuela e Peru) (MELO, PENA, *et al.*, 2011).

A região Nordeste tem a maior área ocupada com coais e a maior produção de amêndoas no Brasil. O coco do babaçu é o fruto da palmeira (*Orbignya spp*) que pode ser encontrado comumente também nas regiões Norte e Centro-Oeste, e é um exemplo de biomassa vegetal bastante utilizada na produção do óleo. O babaçu é composto pelo epicarpo (camada rígida externa), mesocarpo (grande quantidade de amido), endocarpo (envolve as amêndoas) e amêndoas (de onde o óleo é retirado). As amêndoas apresentam um valor comercial superior aos outros componentes

mencionados, apenas a amêndoa é utilizada na produção do óleo no processamento do coco e os demais são utilizados para produzir farinha, farelo e torta; sendo que a grande maioria em nutrição animal (CARRAZZA, ÁVILA e SILVA, 2012).

Segundo a Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, (PACHECO, 2004), os países desenvolvidos e em desenvolvimento estão investindo cada vez mais na matriz renovável e em biocombustíveis, através de pesquisas, inovações e tecnologias. Quanto ao desenvolvimento tecnológico no Brasil, pesquisadores estão desenvolvendo a otimização de vários processos de catálise em biomassa lignocelulósica e em conversão termoquímica.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral caracterizar o endocarpo de duas fontes de biomassa, o babaçu e buriti especificamente, com potencial energético de geração de combustíveis sólidos e líquidos pela reação de pirólise. Para tanto, serão pesquisadas fontes lignocelulósicas na literatura para comparação dos resultados obtidos na pesquisa de composição energética do buriti e babaçu.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar os endocarpos das biomassas de buriti e babaçu;
- Mensurar a análise imediata;
- Mensurar o poder calorífico;
- Mensurar os teores de lignina, celulose e hemicelulose;
- Comparar os resultados das análises realizadas com a literatura;
- Traçar a curva termogravimétrica;
- Investigar o potencial energético.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA E MUNDIAL

A partir da Revolução Industrial o consumo energético aumentou em grandes proporções. Este aumento constante desencadeia uma série de preocupações em relação as fontes utilizadas para produção de energia (AQUINO, BIDÔ, *et al.*, 2014). Parte desta preocupação advém do contexto em que as inúmeras inovações tecnológicas necessitam cada vez mais de energia. Baseando-se no fato de que a maioria destas fontes ainda não são renováveis, estas se tornam propícias a se esgotarem devido ao grande consumo atual. O risco de esgotamento destas fontes fez que surgissem estudos baseados em novas fontes energéticas (SAUER, 2007).

A Confederação Nacional da Indústria informou que, aproximadamente, 85% de toda reserva de petróleo está concentrada em apenas dez países, onde quase todos encontram-se envolvidos em turbulências geopolíticas. A gasolina e o óleo diesel que provém deste petróleo são responsáveis por 25% da emissão de gases contributivos para o efeito estufa devido a sua utilização no abastecimento no setor de transporte dos países industrializados (CNI, 2007). Enquanto isso, o carvão mineral é responsável por 25% do consumo de energia no mundo, sendo usado na maior parte (2/3) para produção de eletricidade e nas indústrias. Destes citados, o carvão mineral é o insumo energético com maior reserva mundial, sendo mais que o triplo das reservas de petróleo e gás natural, estando estas localizadas principalmente em quatro países: Índia, Estados Unidos, Rússia e China (CNI, 2007).

O problema encontra-se ao detectar que o consumo de combustíveis fósseis é responsável por cerca de 84% de todas as emissões dos gases causadores do efeito estufa. Somente o setor de transporte é responsável por 60% da emissão relacionado com o petróleo (MAIA, 2010). Tendo em vista a escassez e os prejuízos causados ao ambiente em decorrência da utilização destes insumos energéticos, necessita-se em caráter de urgência de uma mudança mundial na matriz energética, migrando de fontes não renováveis para energias alternativas (BASTOS, 2007).

São chamadas Energias Alternativas aquelas energias renováveis com caráter de ciclo e pouco impactantes negativamente no meio ambiente (BASTOS, 2007). Comparando o nível de participação de energias renováveis do Brasil com a média mundial, notamos que a matriz brasileira chega aos 45% de participação, enquanto a média mundial não passa dos 14%. Isto é suficiente para garantir boas condições para expandir o parque gerador hidroelétrico e possibilitar uma participação ainda maior (CNI, 2007).

A indústria de petróleo perdeu um pouco do seu espaço devido as novas formas de fonte de energia a partir dos anos 2000. Perspectivas apontam que até 2030 a participação do petróleo na matriz poderá ser reduzida em até 38% em relação a 2000 (ANP e MME, 2017).

A matriz de energia elétrica brasileira é composta predominantemente por usinas hidrelétricas, que operam na geração de base do Sistema Interligado Nacional (SIN). De acordo com a Figura 1, o Brasil apresentou uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável com ano base de 2017, onde 80,33% corresponde a eletricidade renovável do país. É possível observar o destaque para a geração hidráulica que apresenta 65,20% da oferta interna do país enquanto a biomassa está ganhando corpo no cenário nacional (MME, 2018). E também possui um enorme potencial para exploração de fontes de energias alternativas por disponibilidade de grandes volumes de terras férteis que podem ser utilizadas para produção de biomassa; bem como clima e ventos favoráveis para energia eólica; além de boa incidência de radiação solar possibilitando sua conversão em eletricidade (AQUINO, BIDÔ, *et al.*, 2014).

Uma saída estratégica para assegurar a garantia de segurança energética do parque gerador é a operação das usinas termelétricas em regime complementar às hidrelétricas, visando assim mitigar os riscos de desabastecimento e preservar os níveis dos reservatórios hídricos do sistema em períodos críticos. Ainda segundo dados da ANEEL, as usinas termelétricas representam 25% da capacidade instalada do País, se caracterizando como a segunda fonte mais relevante da matriz elétrica, sendo operadas essencialmente a combustíveis fósseis e biomassa.

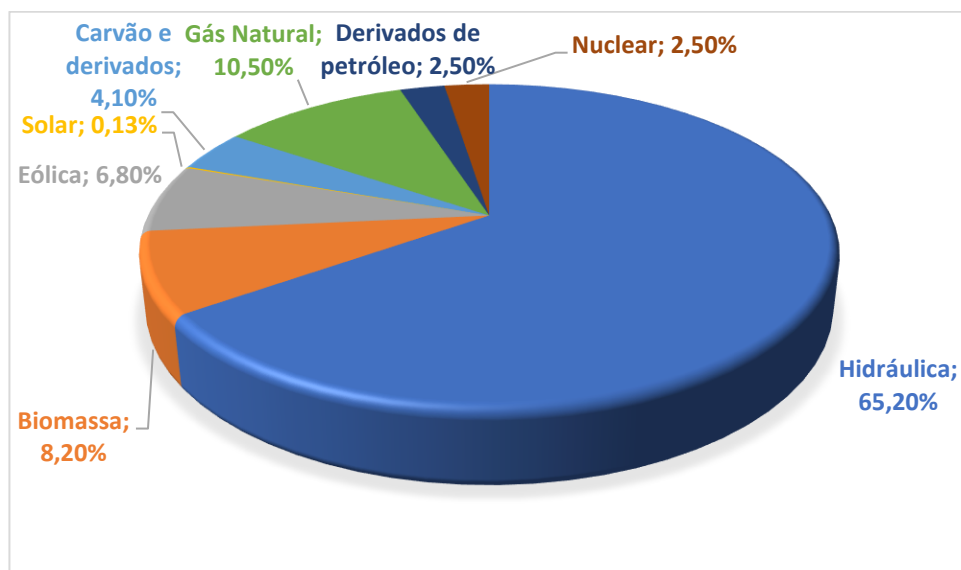


Figura 1: Distribuição da matriz energética brasileira em 2018.
 Fonte: (Ministério de Minas e Energia - BEN, 2018) adaptado.

Após o ano de 2001, o governo nacional buscou mitigar a situação da matriz energética brasileira através de incentivos. Foi quando o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) iniciou-se buscando aumentar a diversidade de alternativas na matriz energética dando prioridade para novos empreendedores (EPE e MME, 2014).

Alguns métodos foram fundamentais como a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE) que tem como objetivo promover competitividade da energia produzida a partir de fontes eólica, pequenas hidrelétricas, biomassa, gás natural, carvão, proporcionar a universalização do serviço de energia elétrica em todo território nacional, custear a subvenção de energia elétrica aos consumidores de baixa renda, custear os descontos incidentes sobre as tarifas e prover recursos para cobertura dos gastos do CCC (Conta do Consumo de Combustíveis). Uma vez que as políticas nacionais formuladas fomentaram a diversificação da geração elétrica, a adoção de um mercado competitivo descentralizado e a necessidade do uso mais racional da energia (diminuindo os impactos ambientais das fontes energéticas nacionais (CCEE, 2017)).

Dentro dos mais diversos recursos renováveis existentes no planeta, a biomassa é o que merece maior destaque, visto que biomassa é a única fonte de carbono em que se possibilita a conversão em combustíveis sólidos, líquidos e

gasosos. Isto se dá principalmente por seu ciclo de vida ser curto e por sua reposição e sua disponibilidade ocorrerem em períodos sazonais. Seguindo este contexto, a política de energia brasileira iniciou programas que visam a substituição de combustíveis fósseis para fontes de energias renováveis, principalmente visando a substituição de parte do petróleo por fontes oriundas da biomassa, como os biocombustíveis (TOLMASQUIM, 2016). O biocombustível é uma denominação dada àqueles combustíveis que são derivados da biomassa, como a cana-de-açúcar, oleaginosas, as biomassas florestais (sendo elas a lenha, o carvão vegetal, os resíduos florestais, dentre outros) e tantas outras fontes de matérias orgânicas (SAUER, 2007).

De acordo com a Figura 2, os biocombustíveis mais conhecidos e, consequentemente, os mais utilizados são o etanol (álcool) e o biodiesel, que são utilizados tanto na adição ao combustível habitual (Biodiesel) quanto aproveitado como álcool puro. A grande vantagem destes biocombustíveis em relação aos combustíveis fósseis como o diesel e gasolina é que aqueles contribuem para a redução da emissão dos gases causadores do efeito estufa (SAUER, 2007).

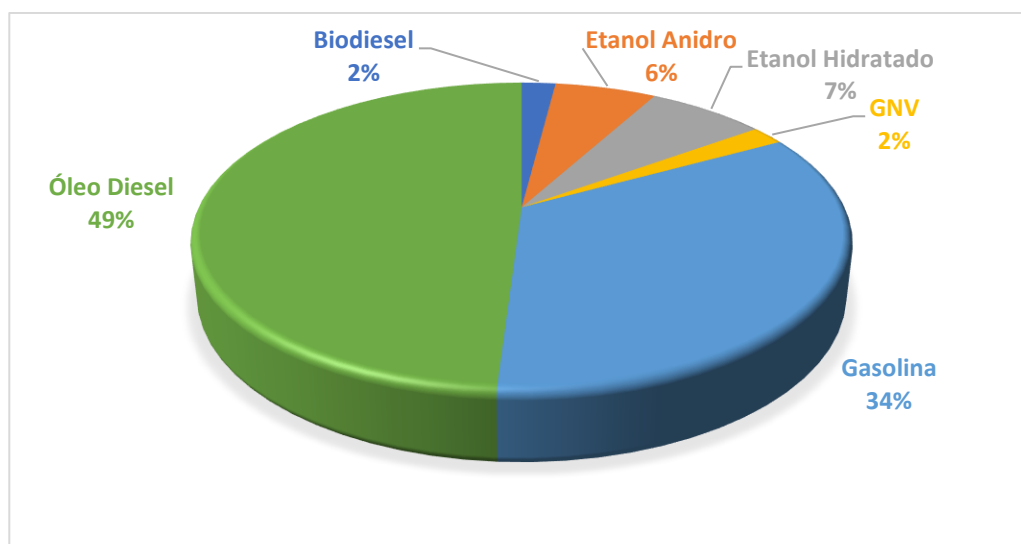


Figura 2: Matriz energética veicular no Brasil.
Fonte: (ANP, 2014) adaptado.

O Brasil se transformou em um dos maiores produtores, consumidores e exportadores de etanol no mundo e o com maior experiência mundial em todo setor de biocombustíveis, graças ao Programa Nacional do Álcool (Proálcool), que foi

impulsionado pelo Governo Federal juntamente com a Petrobras e a indústria sucroalcooleira. A inserção da Petrobras foi essencial para o sucesso do Proálcool. E com isto a introdução dos biocombustíveis na matriz energética brasileira teve origem em 1925 (PIACENTE, 2006).

3.2 GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DA BIOMASSA

A biomassa é uma das mais importantes formas de energia alternativa dentro da matriz energética mundial, a biomassa tem capacidade de reduzir o consumo de combustíveis fósseis. Energia elétrica e biocombustível são duas vertentes que a biomassa pode proporcionar. O biodiesel e o etanol são biocombustíveis produzidos através da biomassa e possuem um consumo considerável, conseguindo mitigar o consumo de combustíveis derivados do petróleo como a gasolina e o óleo diesel (S. PAUL, A. DUTTA, 2017). Pensando a longo prazo, a fonte energética mais promissora e com maior possibilidade para fins energéticos como fonte de geração de energia elétrica é a biomassa (MME, 2007).

Em regiões pouco desenvolvidas, a biomassa mais utilizada é a de origem florestal. Já em regiões mais desenvolvidas é comumente analisar uma grande escala de combustíveis e energia elétrica diretamente ligados à biomassa agrícola através de agroindústrias e plantações em larga escala, seja de milho, cana-de-açúcar, soja ou arroz (ANEEL, 2008). Os resíduos florestais englobam toda a matéria vegetal gerada pela fotossíntese e seus derivados, como resíduos agrícolas, culturas, florestas, dejetos animais e matéria orgânica, que são uma fonte energética facilmente encontrada em determinados países que apresentam grandes colheitas, sendo economicamente viável, eficiente e que está encontrando mercado com seu avanço tecnológico. Outros resíduos importantes são os resíduos sólidos urbanos e industriais, resíduos de natureza orgânica e inorgânica com avanço tecnológico na otimização da decomposição (BARBOSA CORTEZ, SILVA LORA e OLIVARES GÓMEZ, 2008).

O resíduo de maior destaque no Brasil é a cana-de-açúcar, devido à sua capacidade de produção em larga escala, reflexo também da grande produção internacional de etanol e açúcar. Em 2015, a produção de cana-de-açúcar foi de

aproximadamente de 658,4 milhões de toneladas (Mt) numa área de 9 milhões de hectares. Desta quantidade de cana, 177,8 Mt de bagaço e 102,1 Mt de toneladas de ponta e palha foram produzidos. Em 1975 deu-se início ao Programa Nacional de Álcool (Próálcool), programa que universalizou a indústria sucroenergética Brasileira. O Proálcool é considerado um programa pioneiro de biocombustíveis, e produzir um combustível alternativo nacional foi a grande jogada política. Hoje, toda a palha é deixada no solo para servir como adubo orgânico e todo bagaço restante é queimado gerando energia elétrica e calor (EPE e MME, 2014)

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica, (ANEEL, 2008), o Brasil esmaga 425 milhões de toneladas de cana-de-açúcar por ano, onde a metade vem da região amazônica para produção de etanol. Mundialmente falando, a cogeração provida da cana-de-açúcar gira em torno 6,8GW de um total de 8GW da biomassa mundial. Produção que tem uma perspectiva futura de crescimento muito abrangente para cana-de-açúcar, podendo gerar futuramente até cinco vezes mais potência.

Quantidades significativas de biomassa estão disponíveis nas indústrias madeireiras, resíduos de fabricação de celulose e papel, subprodutos da fermentação e outros resíduos florestais. Entre outros tipos de biomassa, os resíduos agrícolas de origem lignocelulósica podem contribuir para a satisfação da demanda local e sazonalmente aumentada de energia, evitando práticas que causam desperdício e prejudicam o meio ambiente, como a queima a céu aberto. A biomassa residual pode hoje contribuir para as metas de produção de energia verde e desenvolvimento sustentável nas áreas rurais. As atuais estimativas de disponibilidade de resíduos agrícolas revelaram que quase 5 toneladas de resíduos agrícolas são produzidas em uma base anual em todo o mundo. Os resíduos agrícolas podem ser convertidos por métodos termoquímicos e fornecem produtos úteis de interesse comercial (ZABANIOTOU, 2012).

3.3 BURITI

O Cerrado é conhecido pela diversidade da sua fauna e flora e por ser o segundo maior bioma da América Latina. Este bioma destaca-se por ter grandes variedades de espécies para uso medicinal e por suas famosas fruteiras que são consumidas pela sua população local e vendidas em pequenos empreendimentos autônomos, dentre tais destacam-se o fruto *Attalea speciosa* e a palmeira *Mauritia flexuosa*, também conhecidas, respectivamente, como Babaçu e Buriti.

O buriti (*Mauritia flexuosa*), demonstrado na Figura 3, advém da palmeira pertencente à família *Arecaceae* encontrada em Toda América do Sul e em algumas regiões brasileiras, como Pará, Amazonas, Goiás, Maranhão, Piauí, Bahia, Ceará e Tocantins. O fruto de *Mauritia flexuosa* tem várias finalidades, sendo aproveitado desde a polpa até as sementes. Apesar que, no momento, sua polpa é mais utilizada e apresenta múltiplas propriedades nutricionais que podem ser favoráveis à saúde. É fonte de ferro, cálcio e fibras, sendo um alimento funcional em potencial. A polpa também é utilizada para sorvetes, doces, cremes, geleias, vitaminas, vinhos e azeites. Além de aproveitado gastronomicamente, o buriti fornece matéria-prima para artesanato, confecção de abrigos e remédios (CÂNDIDO, SILVA e AGOSTINI-COSTA, 2015).



Figura 3: Palmeira e buriti
Fonte: Site (TATAGIBA, 2018)

A palmeira da Figura 6 mostra o coco no qual o endocarpo é caracterizado por um tecido branco, fino e esponjoso, podendo proporcionar uma cor amarelada, e embora tenha baixa densidade, apresenta um teor de celulose elevado. Seu óleo possui altos teores de ácidos graxos monoinsaturados, carotenoides e vitamina E, além de apresentar alta capacidade antioxidante. Nos modelos animais o óleo de buriti mostrou-se um alimento funcional (CÂNDIDO, SILVA e AGOSTINI-COSTA, 2015).

O óleo extraído do fruto do buriti é de grande interesse devido às suas características físicas e químicas. Ele apresenta elevadas concentrações de carotenoides, tocoferóis e ácidos graxos oleico e palmítico. Os resíduos de frutas e vegetais descartados pela indústria são geralmente utilizados em produtos comerciais como ração animal ou fertilizante. No entanto, eles poderiam ser usados como fontes alternativas de nutrientes em alimentos de baixo custo. Portanto, é necessário considerar novas alternativas para o uso de tal resíduo, a fim de caracterizar e identificar seu potencial. A fibra e a casca do Buriti, ricas em pigmentos, são alternativas para a indústria alimentícia e farmacêutica (FREIRE, NOGUEIRA, *et al.*, 2016)

3.7 BABAÇU

O babaçu (*Attalea speciosa*), demonstrado na Figura 4, é o fruto de uma palmeira de origem brasileira da família *Arecaceae*, que pode ser encontrada nas regiões amazônicas, no cerrado ou no semiárido nordestino brasileiro, as maiores aparições encontram-se em regiões como Tocantins, Maranhão e Piauí. Diante dessa diversidade de recursos apresenta-se características peculiares, como tamanho, peso e sabor único. Cujas época de frutificação ocorre entre junho e dezembro, variando de acordo com regiões de produção (CARRAZZA, ÁVILA e SILVA, 2012).

No cenário social, as atividades desenvolvidas a partir do babaçu auxiliam inúmeras famílias que dependem da agricultura e de sua exploração para sobreviverem, enquanto no cenário econômico o babaçu é um recurso fundamental,

onde a amêndoa do babaçu comercializa cerca de 120 mil toneladas anuais, o equivalente a R\$150 milhões (CARRAZZA, ÁVILA e SILVA, 2012).



Figura 4: Palmeira e babaçu
Fonte: Site (Agroenergia, 2018)

A palmeira produz frutos arranjados em cachos de cocos, onde estes cocos são divididos em epicarpo, mesocarpo, endocarpo e amêndoas, conforme a figura 5. O epicarpo é constituído por fibras resistentes, usadas especialmente na produção de escovas e tapetes. O mesocarpo contém grande concentração de amido, bastante usado na elaboração de farinha. O endocarpo possui maior espessura, ou seja, além da vasta quantidade de endocarpo o babaçu ainda apresenta um endocarpo denso o que constitui mais carbono e, por conseguinte mais carvão. O endocarpo é matéria-prima para a produção de isolantes e para a fabricação de álcool metílico, ácido acético, alcatrão e carvão. As amêndoas são encontradas no interior do endocarpo, onde mais da metade da amêndoa é óleo rico em ácido láurico e o restante é a torta, que é utilizada para ração de animais e adubo (COSTA MACHADO, PAES CHAVES e ANTONIASSI, 2006).

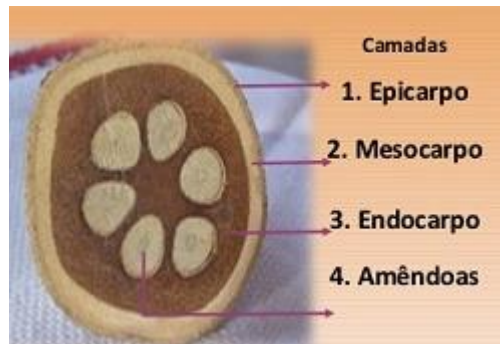


Figura 5: Coco do babaçu
Fonte: Site (CIDADEVERDE, 2015)

O babaçu mostra-se como uma alternativa para obtenção de energia, pelo fato de ter subprodutos, sendo oportuna a produção de energia a partir dessa biomassa, pois agrega valor ao produto. Energia na qual pode ser gerada por vias termoquímicas e de conversão biológica. Existem diversas rotas termoquímicas para produção de energia, dentre elas a pirólise. Esta possibilidade de agregar valor ao produto através da geração de energia torna esse processo uma alternativa perante às iniciativas atuais de busca de novas fontes renováveis para a produção de energia limpa (GÓMEZ, 2002). Durante a pirólise são obtidos produtos gasosos, líquidos e sólidos, que são produzidos em distintas proporções a partir do rompimento térmico das ligações, aquisição de produtos com densidade energética maior e melhoria na propriedade da biomassa inicial (VIEIRA, PICKLER, *et al.*, 2014).

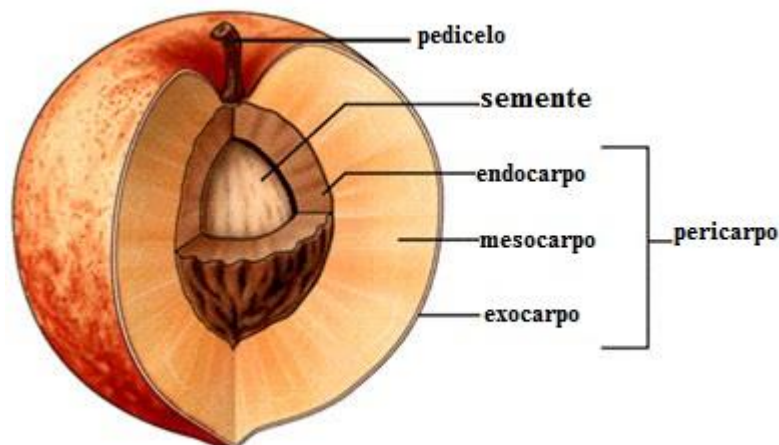


Figura 6: Segregação das características da maçã
Fonte: Site (CIDADEVERDE, 2015)

Como pode ser visualizado na figura 6, a separação detalhada do pericarpo é necessária para o entendimento e aprofundamento deste trabalho, que será utilizado o endocarpo do buriti e do babaçu para uma caracterização e análise qualitativa e quantitativa da composição como possíveis potenciais energéticos no processamento de biomassa vegetal através da pirólise.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA

A biomassa vegetal é um material lignocelulósico, (Figura 7), composto por lignina (estrutura rígida formada por moléculas polinucleadas), celulose (polímero linear de moléculas de glicose) e hemicelulose (polissacarídeo não celulósico); além de materiais inorgânicos (ROCHA, PÉREZ, *et al.*, 2010).

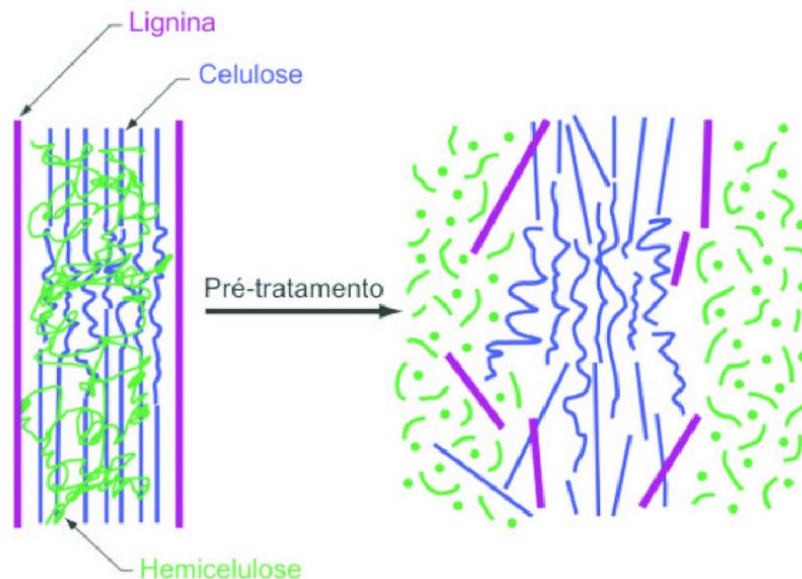


Figura 7: Alterações estruturais do complexo celulose-hemicelulose-lignina determinadas pelo pré-tratamento
Fonte: (SANTOS, QUEIRÓZ, *et al.*, 2012)

A proporção da composição lignocelulósica da biomassa pode direcionar a melhor alternativa de conversão de energia, onde a queima direta pode gerar calor e eletricidade, as rotas termoquímicas e bioquímicas podem dar origem a

biocombustíveis em forma líquida (etanol, metanol, biodiesel, bioóleo), gasosa (hidrogênio e metano) e sólida (carvão). A estrutura altamente cristalina de celulose e a composição heterogênea de hemiceluloses na biomassa lignocelulósica impedem a conversão direta desse material a combustível e requerem pré-tratamento químico e/ou físico para quebra da cadeia carbônica, além de processos de tratamento enzimático, o que aumenta o custo de todo o processo e traz um grande obstáculo para a produção em larga escala (ROCHA, PÉREZ, *et al.*, 2010) (COSTA, 2017).

Com o aumento da oferta dos recursos orgânicos, foi necessária uma atenção às questões ambientais, econômicas e sociais. Podendo, assim, fazer com que o conceito de Sistema Integrado de Produção de Alimentos e Energia (SIPAE) seja utilizado na conversão de energia da biomassa residual agregando valor às cadeias produtivas de base rural da pecuária e agricultura, disponibilizando uma fonte de energia limpa, potencialmente econômica e sustentável (TOLMASQUIM, 2016).

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica, (2008), a fonte de biomassa pode ser classificada de acordo com a Figura 4: biomassa agrícola (soja, arroz e cana-de-açúcar, entre outras), biomassa florestal (madeiras), e rejeitos urbanos e industriais (sólidos ou líquidos, como o lixo).

A Figura 8 mostra um diagrama referente às fontes de biomassa, onde os vegetais não lenhosos e vegetais lenhosos, são os de origem florestal, os resíduos orgânicos, referem-se aos de origens agrícolas, urbanos e industriais, já a biomassa obtida dos biofluidos provenientes dos óleos vegetais (por exemplo, soja e mamona).

A palha representa aproximadamente um terço do conteúdo energético da cana-de-açúcar. Motivo suficiente para dobrar a oferta de biomassa. Com a valorização a energia, em especial do petróleo, e com o avanço da tecnologia, a palha ganha destaque mundial, apesar de atualmente ser muito deixada na lavoura com redução de impactos ambientais. (EPE e MME, 2014)

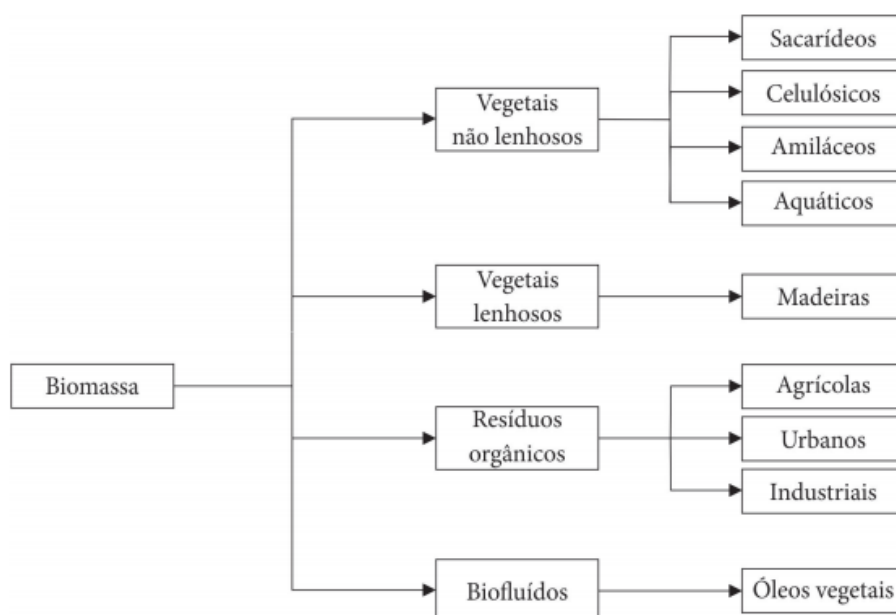


Figura 8: Fontes de biomassa.
 Fonte: (Ministério de Minas e Energia, 2007). Adaptado.

A biomassa direcionada para fins energéticos, envolve o uso destes resíduos para a geração de fontes alternativas de energia. Oferece diferentes tecnologias para o processamento e transformação de energia, mas todas as tecnologias de biomassa atualmente utilizadas no mundo apresentam dois problemas cruciais: a eficiência energética de sua cadeia produtiva e o custo da biomassa (NICOLAE SCARLAT, JEAN-FRANCOIS DALLEMANDA, *et al.*, 2011). Com isto, o biocombustível não tem oferta e demanda suficiente para substituir o petróleo, mas é bastante eficiente na redução das emissões de gases de efeito estufa, no aumento da segurança energética de cada país e no aumento da oferta de empregos e renda no meio rural. A implementação da conscientização da biomassa em energia, para ser bem-sucedida, requerer muita criatividade e investimentos em P&D, seja para reduzir os custos das matérias-primas e dos processos de conversão, seja para reduzir e mitigar os impactos socioambientais do aumento de áreas cultivadas, de forma a garantir um desenvolvimento sustentável (NICOLAE SCARLAT, JEAN-FRANCOIS DALLEMANDA, *et al.*, 2011).

3.5 PROCESSOS DE TRANSFORMAÇÃO DA BIOMASSA

Para gerar energia elétrica a partir da biomassa, é disponível algumas vias tecnológicas que convertem biomassa em um produto intermediário. Estes produtos intermediários alimentam uma máquina motriz capaz de acionar o gerador de energia elétrica. O setor sucroalcooleiro, as centrais termelétricas de cogeração e a valorização dos resíduos industriais e agrícolas estão em extrema expansão tecnológica, aumentando cada vez mais a capacidade de produção de energia elétrica ou minimizando o consumo de biomassa para alimentar a demanda em aplicações mais rentáveis (MME e EPE, 2007).

A figura 9 apresenta um diagrama esquemático dos principais processos de conversão da biomassa, tais como processos físico, térmico e biológicos.

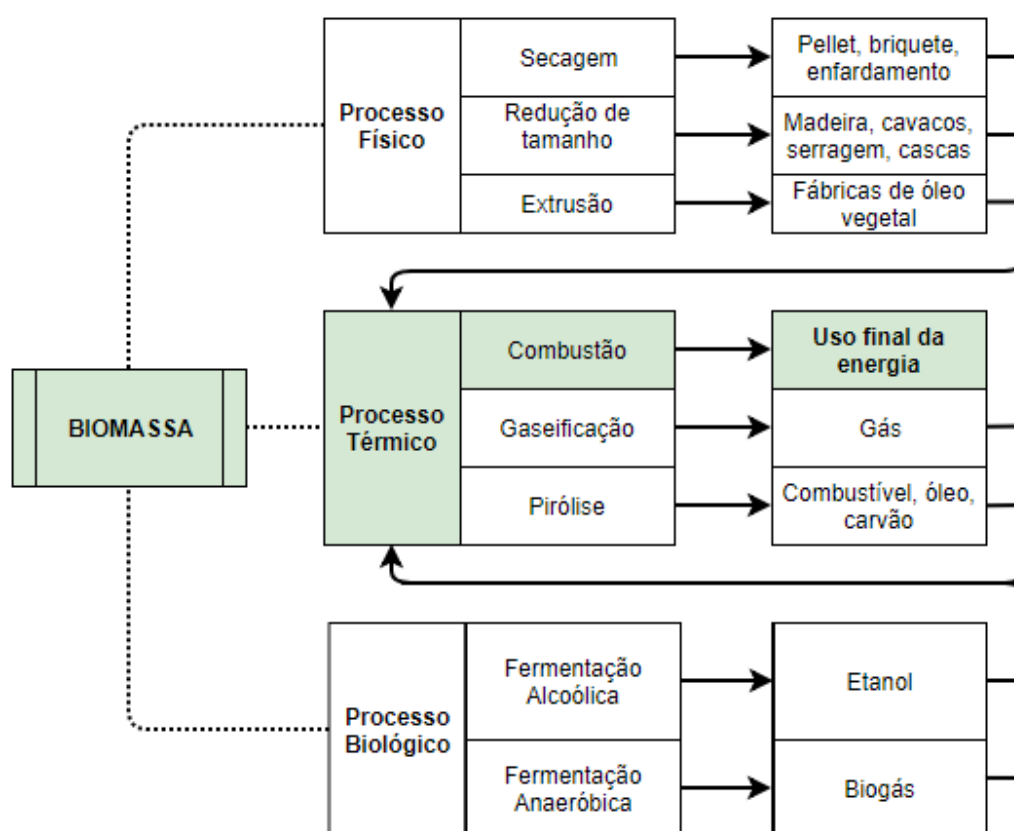


Figura 9: Diagrama dos processos de conversão energética da biomassa
Fonte: Autoral.

De acordo com a figura 9 é possível perceber a variedade de processos utilizados como forma de conversão de biomaterial em fonte energética. Existem algumas técnicas de converter matéria-prima em energia, essas técnicas apresentam níveis tecnológicos variados por dependerem de derivados diferentes. Há por exemplo, a geração de vapor que pode ocorrer em caldeiras, fornos e fogões para obtenção de calor (HORST, 2013). É, também, possível observar que após o término do processo físico e biológico e a produção de combustíveis pode ocorrer o processo térmico como combustão para obtenção de energia.

A gaseificação é outro processo que envolve reações termoquímicas, que tem como objetivo principal converter o combustível sólido em gás composto de misturas (monóxido de carbono, hidrogênio, metano, dióxido de carbono e nitrogênio). Este mesmo gás também pode ser utilizado para movimentar as pás de turbinas para gerar energia elétrica ou em motores de combustão interna. Há também a possibilidade de retirar, da mistura gasosa, alguns componentes poluentes (HORST, 2013)

Na digestão anaeróbia, também ocorre na ausência de gás oxigênio, trata-se de um processo natural onde os compostos orgânicos se decompõem pela ação de leveduras, bactérias ou enzimas formando o biogás (metano e dióxido de carbono). Através da fermentação os microorganismos, maioria das vezes leveduras, agem sobre o açúcar da fruta (cana-de-açúcar, milho, beterraba e batata), e o convertem em álcool. O produto final pode ser na forma de álcool anidro que é misturado à gasolina (no Brasil, na proporção de 20% a 22%) e álcool hidratado, utilizado como combustível em motores de combustão interna (HORST, 2013).

A transesterificação é um processo produtivo do biodiesel e glicerina, que pode ser obtido através da soja, girassol e amendoim. A reação entre uma base com metanol ou etanol forma um produto intermediário ativo que reage com óleos vegetais através do processo de transesterificação. O biodiesel tem características físico-químicas muito semelhantes às do óleo diesel e, portanto, pode ser usado em motores de combustão interna (ANEEL, 2008)

O processo de hidrólise consiste no rompimento das ligações químicas existentes entre as unidades de glicose que constituem a celulose presente nos vegetais. O processo de produção de etanol pode aumentar o rendimento de maneira

considerável quando decorrido do processo de hidrólise da biomassa, que pode ser obtido através de qualquer matéria-prima vegetal, desde a celulósica ou até mesmo da recuperação de palha e bagaço. A hidrólise incentiva o uso da biomassa para geração de calor e eletricidade para produção de etanol, e evita o uso do bagaço da cana-de-açúcar queimado nas caldeiras das usinas (MME e EPE, 2007).

Outra opção é a pirólise ou carbonização que pode ser considerado um dos processos mais simples e mais antigos de conversão de um combustível sólido (lenha) em outro de melhor qualidade e maior capacidade energética (carvão). Processo que consiste no aquecimento do combustível sólido entre 400°C e 800°C, reação que apresenta como produto final o alcatrão, ácido pirolenhoso e o carvão vegetal, que por sua vez, apresenta uma densidade energética de até duas vezes maior que o material lenhoso, além de gás combustível (HORST, 2013)

O desenvolvimento das tecnologias capazes de incorporar a biomassa em energia e o amadurecimento do sistema energético estão ampliando cada vez mais novos horizontes através dos processos de conversão, inovações eclodem dos processos de combustão para obtenção de energia térmica até processos físico-químicos e bioquímicos para obtenção de combustíveis gasosos e líquidos. O Brasil é um país de destaque, mundialmente falando, na produção de biomassa devido a sua extensão territorial, a grande quantidade de terra agricultável e as condições naturais e climáticas, reunindo, assim, vantagens expressivas na produção e uso da biomassa como recurso energético.

3.6 PIRÓLISE

A pirólise é a decomposição química de elementos orgânicos em função da temperatura. Ela também inicia a etapa de gaseificação e combustão, onde ocorre na ausência ou quase ausência de oxigênio, enquanto a combustão só ocorre na presença de oxigênio. Em escalas industriais, as temperaturas variam de 400 ° C a 800 ° C. Neste processo termoquímico cada biomassa responde de uma maneira diferente, dependendo da temperatura, tempo de reação taxa de aquecimento e da própria composição, de modo que, quando em temperaturas elevadas e longos

períodos de tempos a formação de produtos gasosos aumenta, e quando em baixas temperaturas com longos períodos de tempo a formação de produtos sólidos aumenta e para a formação do de produtos líquidos é usado um equilíbrio na temperatura e curto período de tempo para a reação (BUI, TOUSSAINT, *et al.*, 2009).

Portanto, a reação de pirólise apresenta três opções de produtos energéticos, com a produção de diferentes produtos com maior valor agregado. Um diagrama do processo termoquímico de pirólise é mostrado na Figura 10.

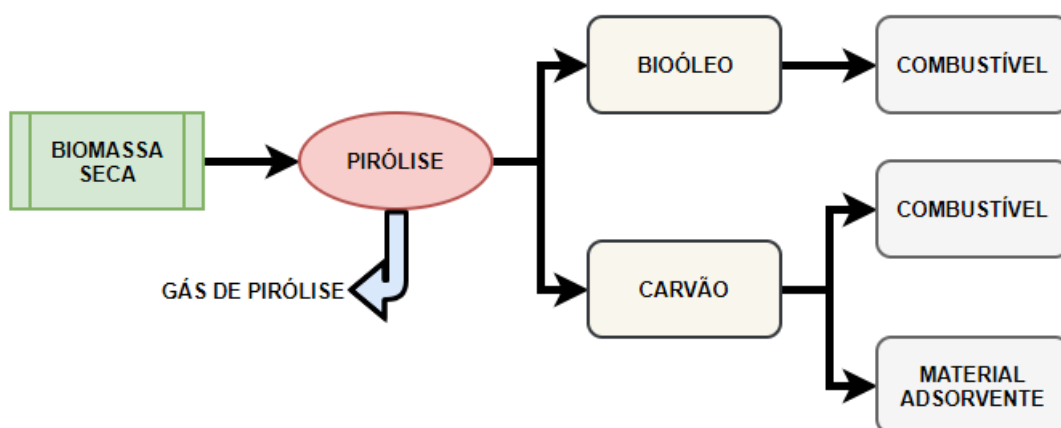


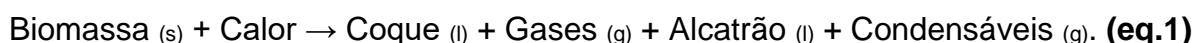
Figura 10: Diagrama processo termoquímico de pirólise
Fonte: Autoral.

Os produtos líquidos apresentam rendimentos superiores aos sólidos e gasosos durante o processo. O bioóleo pode ser formado através da pirólise da biomassa e é um produto altamente valoroso pelo fato da forma líquida ser a mais fácil de trabalhar. A biomassa que apresenta quantidades superiores de lignina, possui maior fixação de carbonos, o que facilita a geração de carvão vegetal. Por outro lado, se a biomassa apresentar altos teores de celulose e hemicelulose, a produção de bioóleo é beneficiada. A lignina normalmente ocupa pouco menos de um terço do peso da biomassa, e tem potencial suficiente para gerar grande quantidade de energia através da biomassa (FONTES, 2011)

Segundo (HUGHES, JUAN CARLOS LÓPEZ-NÚÑEZ, *et al.*, 2014), testes de combustão realizados com queimadores de escalas diferentes mostram que é possível o líquido de pirólise ser usado como um substituto do óleo combustível em equipamento de mesmo nível ou próximo do ideal. Projetos atuais também são muito

delicados a mudanças na qualidade do bioóleo. Ao apontar aplicações mais sofisticadas, como a produção de combustíveis de transporte, o líquido de pirólise precisa ser atualizado devido ao seu conteúdo energético relativamente baixo, muita água, acidez e baixa estabilidade. Em contraste com os combustíveis de petróleo, o líquido de pirólise possui 50% de oxigênio em peso (base úmida). Este elevado teor de oxigênio é a principal razão para as diferenças nas propriedades e no comportamento entre os combustíveis de hidrocarbonetos e o óleo de pirólise de biomassa. Muitas tecnologias de atualização foram testadas para diminuir o teor de oxigênio e aumentar a estabilidade de armazenamento do bioóleo, enquanto a adição de álcool tem sido sugerida como um dos métodos mais baratos para melhorar a estabilidade do bioóleo.

O Brasil sempre foi um grande produtor de carvão vegetal, produto bastante utilizado desde a queima de madeiras à indústria siderúrgica, pois quando queimada em ambientes fechados, não gera chama nem fumaça durante a combustão com intensidade de calor superior à queima da própria biomassa. Pensando-se em sustentabilidade energética, as pesquisas têm buscado o estudo de novas fontes renováveis, com elevados teores de lignina, que produzam um carvão de boa qualidade, com rendimentos maiores do que os alcançados até então (HOSOKAI, NORINAGA, *et al.*, 2011). A equação 1 representa a reação da biomassa com calor.



Há possibilidade de vários mecanismos para as possíveis rotas de reação que ocorrem durante a pirólise da biomassa. Cada biomassa apresenta especificações distintas e conseqüentemente necessitam de um tratamento exclusivo para aproveitar o melhor do que cada biomassa tem a oferecer e, ainda assim, aproveitar os produtos até então descartáveis ou pouco utilizados.

4. MATERIAL E METODOLOGIA EXPERIMENTAL

4.1 MATERIAL

Os resíduos dos endocarpos do buriti e do babaçu utilizados neste trabalho foram cedidos pelo professor da Universidade de Brasília, Fábio Cordeiro de Lisboa. Os resíduos das respectivas amostras são apresentados nas Figuras 11 e 12.



Figura 11: Resíduo do endocarpo do buriti antes e após o processo de moagem
Fonte: Autoral



Figura 12: Resíduo do endocarpo do babaçu antes e após o processo de moagem
Fonte: Autoral.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DO BURITI E BABAÇU

Os resíduos foram secos em estufa e moídos (o babaçu foi moído através do moinho analítico universal IKA enquanto o buriti foi moído em moinho de faca Willey com a peneira média). Para as análises química, imediata e termogravimétrica utilizou-se o agitador de peneira Bertel (Figura 13) no laboratório do LPF que fica no SFB/IBAMA para classificar o material granulométrico que passou pela peneira de 18 *mesh* e ficou retido na de 100 *mesh* (granulometria entre 1,00 e 0,149 mm) com intuito de homogeneizar as partículas de ambas amostras, enquanto que para o poder calorífico utilizou-se as peneiras de 40 *mesh* e 60 *mesh* (granulometria entre 0,420 e 0,250 mm). Todas as análises foram realizadas em triplicata.



Figura 13: Agitador de peneira Bertel
Fonte: Autoral.

4.2.1 Análise Imediata

A análise imediata foi realizada no Laboratório de Produtos Florestais do SFB - IBAMA. Para a determinação dos teores de umidade, voláteis, cinzas e carbono fixo, os procedimentos foram referentes à norma (NBR 8112, 1986).

4.2.1.1 Teor de Umidade

O teor de umidade pode ser definido como a massa de água contida na biomassa e pode ser expressa tanto na base úmida (bu) quanto na base seca (bs), e pode ser avaliada pela diferença entre os pesos de uma amostra, antes e logo após ser submetida à secagem (NOGUEIRA e RENDEIRO, 2008). Os valores de teor de umidade para algumas biomassas presentes na literatura são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Teor de umidade de algumas biomassas

Biomassa	Teor de umidade (%)	Referências
Bagaço de Cana	8,87	(LIMA, SILVA, <i>et al.</i> , 2015)
Casca de Arroz	10,61	(MORAIS, SEYE e FREITAS, 2006)
Resíduos de Soja	6,30	(WERTHER, SAENGER, <i>et al.</i> , 2000)
Sabugo de Milho	17,10	(SILVA, SOBRINHO e SAIKI, 2004)

O teor de umidade foi determinado por gravimetria para 1g de resíduo. As amostras foram colocadas em placas de *petri* de massa conhecida, e em seguida na estufa a 105°C ± 5°C até massa constante. Após isso, foram retiradas da estufa, resfriadas em um dessecador e após a pesagem em base seca foram registradas para realizar o cálculo conforme equação abaixo:

$$TU = \frac{m_0 - m_1}{m_x} \times 100 \quad (\text{eq.2})$$

Onde:

TU = teor de umidade em percentual (%);

m_0 = massa inicial da amostra, em g;

m_1 = massa final da amostra, em g;

$m_x = m_o$ para base úmida e m_l para base seca, em g.

4.2.1.2 Teor de Cinzas

O teor de cinzas foi obtido a partir de 1g de amostra. As amostras foram colocadas em cadinhos de porcelana de massa conhecida, e colocados em uma mufla, pré-aquecida a 700°C. Os cadinhos permaneceram dentro da mufla até a calcinação total do material, por um período de 5 horas. Após a calcinação, os cadinhos foram retirados da mufla e resfriados, dentro de um dessecador, para que suas massas pudessem ser anotadas para realização do cálculo do teor de cinzas a partir da equação abaixo:

$$CZ = \frac{m_1 - m_0}{m} \times 100 \quad (\text{eq.3})$$

Onde:

CZ = teor de cinzas em percentual (%);

m_0 = massa do cadinho, em g;

m_1 = massa do cadinho + resíduo, em g;

m = massa da amostra, em g.

Os valores de teor de cinzas para algumas biomassas presentes na literatura são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Teor de Cinzas de algumas biomassas

Biomassa	Teor de Cinzas (%)	Referências
Bagaço de Cana	4,20	(KATYAL, THAMBIMUTHU e VALIX, 2003)
Casca de Arroz	23,84	(MORAIS, SEYE e FREITAS, 2006)
Resíduos de Soja	5,10	(WERTHER, SAENGER, <i>et al.</i> , 2000)
Sabugo de Milho	1,10	(DEMIRBAS, A., 2004)

4.2.1.3 Teor de Voláteis

O teor de voláteis pode ser definido como a parte da biomassa que evapora como um gás por aquecimento (MCKENDRY, 2002). Esse teor influencia a temperatura de ignição e a velocidade da reação, maior teor de material volátil significa consumo mais rápido da biomassa nos processos de conversão (VIRMOND, SENA, *et al.*, 2012).

Os valores de material volátil são diferentes para determinadas biomassas, como pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3: Teor de Voláteis de algumas biomassas

Biomassa	Teor de Voláteis (%)	Referências
Bagaço de Cana	74,88	(TAVARES, 2016)
Casca de Arroz	64,24	(MORAIS, SEYE e FREITAS, 2006)
Resíduos de Soja	69,6	(WERTHER, SAENGER, <i>et al.</i> , 2000)
Sabugo de Milho	81,31	(PAULA, TRUGILHO, <i>et al.</i> , 2011)

O teor de voláteis foi obtido começando com 1g de amostra seca. As amostras foram colocadas em cadinhos de porcelana de massa conhecida e com tampa, e posteriormente colocados na porta de uma mufla, previamente aquecida a $900 \pm 5^\circ\text{C}$. O tempo de permanência do cadinho na porta da mufla foi de três minutos e dentro

da mesma por sete minutos conforme a Figura 14. Após os dez minutos totais, os cadinhos foram resfriados em um dessecador, e tiveram suas respectivas massas anotadas para realização do cálculo conforme equação abaixo:

$$MV = \frac{m_2 - m_3}{m} \times 100 \quad (\text{eq.4})$$

Onde:

MV = teor de voláteis em percentual (%);

m_2 = massa inicial do cadinho + amostra, em g;

m_3 = massa final do cadinho + amostra residual, em g;

m = massa da amostra, em g.



Figura 14: Cadinhos dentro da mufla para análise de voláteis
Fonte: Autoral

4.2.1.4 Teor de Carbono Fixo

O teor de carbono fixo é importante para a estabilidade da queima da biomassa e é definido como a fração mássica que se mantém após a libertação dos voláteis, retirando a cinza e o teor de umidade (MCKENDRY, 2002) (BORK, 2011). Esse teor depende principalmente do teor de material volátil, logo biomassas com altos teores de material volátil possuem baixos teores de carbono fixo. Os valores de material volátil são diferentes para determinadas biomassas, como pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4: Teor de Carbono Fixo em algumas biomassas		
Biomassa	Teor de Carbono Fixo (%)	Referências
Bagaço de Cana	15,00	(DEMIRBAS, A., 2004)
Casca de Arroz	11,90	(MORAIS, SEYE e FREITAS, 2006)
Resíduos de Soja	19,00	(WERTHER, SAENGER, <i>et al.</i> , 2000)
Sabugo de Milho	18,32	(PAULA, TRUGILHO, <i>et al.</i> , 2011)

O teor de carbono fixo foi calculado com base nos teores de voláteis e cinzas, utilizando a equação abaixo:

$$CF = 100 - (MV + CZ) \quad (\text{eq.5})$$

Onde:

CF= Teor de carbono fixo (%);

MV= Teor de materiais voláteis em percentagem (%);

CZ= Teor de cinzas em percentagem (%).

4.2.2 Análise Química

A análise química foi realizada no Laboratório de Materiais e Combustíveis do Instituto de Química - Universidade de Brasília. Para a determinação da Análise Química os teores de holocelulose foram descritos por Browing (1963), os de celulose por Kennedy, Phillips e Williams (1987), lignina Klason por Gomide e Demuner (1986) e o teor de lignina solúvel em ácido sulfúrico foi determinado por meio da espectrofotometria no UV/visível, tendo sido utilizada a equação descrita por Goldchimid (1971).

4.2.3.1 Holocelulose

O teor de holocelulose foi obtido seguindo-se o procedimento descrito por Browing (1963): 2 g (com precisão de 0,1 mg) do material previamente seco a $105 \pm 5^\circ\text{C}$ foi colocado em um Erlenmeyer de 125 ml, juntamente com 2 ml de uma solução de clorito de sódio 30% (m/v) e 2 ml de uma solução de ácido acético (1:5, v/v). O conjunto foi levado à capela de exaustão de gases com aquecimento em banho termostatzado, a $70 \pm 5^\circ\text{C}$. A cada 45 minutos repetiu-se a adição de clorito de sódio e ácido acético, totalizando 5 vezes de acordo com a Figura 15.

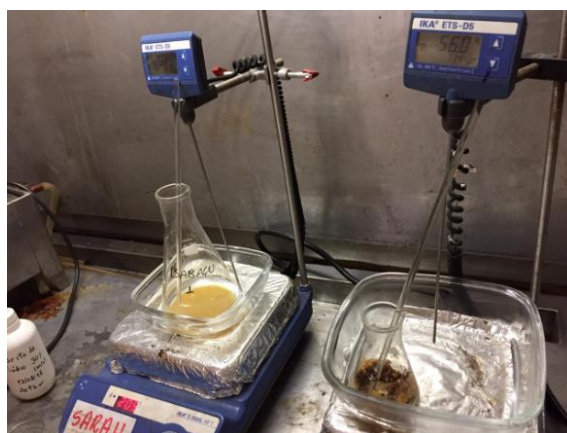


Figura 15: Processo de caracterização da holocelulose
Fonte: Autoral.

A mistura foi resfriada até 5°C e filtrada (Figura 16) em cadinho de vidro com placa porosa (previamente seco e tarado). A holocelulose resultante foi lavada exaustivamente com água fria e uma vez com metanol, e posteriormente seca em estufa a $105 \pm 5^\circ\text{C}$ (Figura 17), até peso constante.



Figura 16: Filtragem da amostra por sucção
Fonte: Autoral.



Figura 17: Secagem da holocelulose na estufa
Fonte: Autoral.

4.2.3.2 Celulose

O teor de celulose foi determinado seguindo o procedimento descrito por Kennedy, Phillips e Williams (1987): em balança de precisão ($\pm 0,1 \text{ mg}$) cerca de 1,0g de holocelulose anteriormente preparada e seca foi pesada e transferida para capsula

de porcelana. A ela, foi adicionado 15 ml de solução de Hidróxido de Potássio 24% (m/v) e a mistura resultante deixada sob agitação por 15 horas a temperatura ambiente. Posteriormente, filtrou-se, de acordo com a Figura 18, em cadinho de placa porosa (previamente seco e tarado) e o resíduo remanescente foi lavado por duas vezes com solução de ácido Acético 1%, até atingir a neutralidade com água destilada e, por último, com etanol. A celulose foi submetida a secagem em estufa a $105 \pm 2^\circ\text{C}$ até peso constante.



Figura 18: Filtragem da amostra em cadinho de placa porosa
Fonte: Autoral.

4.2.3.3 Hemicelulose

A hemicelulose é um polissacarídeo que possui uma estrutura complexa, com baixa massa molar que inclui carboidratos poliméricos com cinco a seis átomos de carbono na estrutura das suas unidades de açúcares. Em decorrência da complexidade estrutural das hemiceluloses, ele apresenta ausência de cristalinidade, baixa massa molar e alta absorção de água (CARVALHO, 2004).

A hemicelulose foi determinada pelo método da diferença, isto é, considerando a soma da celulose e hemicelulose é equivalente à quantidade de holocelulose.

4.2.3.4 Lignina Klason

O teor de lignina Klason foi determinado de acordo com o procedimento descrito por Gomide e Demuner (1986) e o teor de lignina solúvel em ácido sulfúrico foi determinado por meio da espectrofotometria no UV/visível, tendo sido utilizada a equação descrita por Goldchimid (1971).

Esta etapa se procedeu com a determinação da lignina Klason, e para tanto, foram pesados 0,3g de amostra (precisão de $\pm 0,1$ mg) e logo em seguida transferida para um tubo de ensaio de 30mL e adicionados 3,0 ml de solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4) a 72% (v/v). O recipiente foi colocado em um banho termostatzado a $30 \pm 2^\circ\text{C}$ sob constante agitação com um bastão de vidro. Após 60 minutos o conteúdo do tubo de ensaio foi transferido para um tubo de 100 ml, juntamente com 84 ml de água destilada. O frasco foi então selado e aquecido a 120°C por 60 minutos. Posteriormente, a solução resultante foi filtrada em cadinho de placa porosa forrado com fibra de óxido de alumínio, previamente seco e tarado. A fração sólida resultante foi lavada exaustivamente com água fervente e levada a $105 \pm 2^\circ\text{C}$ em estufa até peso constante de acordo com a figura 19.



Figura 19: Lignina insolúvel
Fonte: Autoral.

$$L_{\text{insolúvel}} = \frac{m_2 - m_1}{m} \times 100 \quad (\text{eq.6})$$

Onde:

$L_{\text{insolúvel}}$ = Teor de lignina insolúvel em %;

m = Massa da amostra a base seca, em g;

m_1 = Massa do cadinho filtrante, em g;

m_2 = Massa do cadinho filtrante + lignina insolúvel fixada no cadinho, em g.

O filtrado foi coletado e colocado em um balão volumétrico de 1000 ml e o volume ajustado com água destilada. Uma alíquota da solução do filtrado foi lida em um espectrofotômetro UV/VIS (Biosystems SP-2000) utilizando-se uma solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4) de 72% e $0,024 \text{ mol L}^{-1}$ como referência. A porcentagem de lignina solúvel foi calculada pela equação:

$$L_{\text{Solúvel}} = \frac{4,53(A_{215} - A_{280})}{300 \cdot \text{Massa}_{\text{inicial}}} \cdot 100 \quad (\text{eq.7})$$

Em que: $L_{\text{solúvel}}$ é a porcentagem de lignina solúvel (%);

A_{215} o valor da absorbância a 215 nm;

A_{280} o valor da absorbância a 280 nm.

C_D = concentração dos carboidratos (g.L^{-1})

C_L = concentração de lignina solúvel (g.L^{-1})

Esta equação foi obtida pela resolução simultânea de:

$$A_{215} = 0,15C_d + 70C_L \quad (\text{eq.8})$$

$$A_{280} = 0,68C_d + 18C_L \quad (\text{eq.9})$$

Os valores 0,68 e 0,15 são as absorptividades ($Lg^{-1}cm^{-1}$) molares dos carboidratos em 280 e 215 nm, respectivamente, e os valores 18 e 70 são absorptividades molares da lignina solúvel em 280 e 215 nm, respectivamente.

4.2.3.5 Teor de Lignina Total

O teor de lignina total consiste na soma do teor de lignina solúvel e insolúvel como mostra a equação abaixo:

$$L_{total} = L_{solúvel} + L_{insolúvel} \quad (\text{eq.10})$$

O teor de lignina total também foi calculado por diferença, onde se subtraíram de 100%, os teores de holocelulose e o teor de cinzas livres de extrativos, de acordo com a equação abaixo:

$$L_{total} = 100\% - TH - CZ_{700^\circ C} \quad (\text{eq.11})$$

Onde:

TH= Teor de Holocelulose em percentual (%).

L_{total} = Teor de Lignina Total (%)

4.2.3 Análise Térmica

As técnicas termoanalíticas são definidas como métodos nos quais se mede a variação de uma determinada propriedade física de uma amostra em função do tempo ou da temperatura. A análise termogravimétrica (TG) é uma das técnicas termoanalíticas onde é medida a perda de massa da amostra em função do tempo, ou em função da temperatura. A análise termogravimétrica fornece informações sobre o conteúdo dos componentes voláteis como solventes ou água, sobre o comportamento de decomposição e conteúdo de cinzas. A curva de DTG corresponde à derivada primeira da curva de TG, nos quais os degraus presentes na curva de TG são substituídos por eventos que delimitam áreas proporcionais às variações de massa sofridas pela amostra (PEREIRA, CARNEIRO, *et al.*, 2013).

A análise termogravimétrica foi realizada em um equipamento modelo DTG-60 *Shimadzu* no Laboratório de Química da FGA - Universidade de Brasília. Primeiramente, as amostras de buriti e babaçu foram pesadas, cerca de 10 mg de cada uma, em cadinhos de platina. Posteriormente, as amostras já dentro do forno, foram aquecidas de 25 até 700°C a uma taxa de 10°C min⁻¹, em atmosfera de nitrogênio ou ar sintético a 50 cm³.min⁻¹.

4.2.4 Poder Calorífico

4.2.4.1 Poder Calorífico Superior (PCS)

Para quantificar o poder calorífico das amostras foi necessário prensá-las em pellets utilizando uma prensa de bancada com meia tonelada para formação dos pellets, e assim levá-las à estufa de secagem com circulação a ar e temperatura de 105 ± 5°C (Figura 20). O poder calorífico foi realizado no Laboratório de Produtos Florestais do SFB - IBAMA. O equipamento utilizado para quantificar o poder calorífico superior foi o PARR 6400 *Automatic Isoperibol Calorimeter* de acordo com a metodologia do LPF baseado na norma (NBR ISO 1928, 2009).



Figura 20: Tratamento dos pellets para o calorímetro
Fonte: Autoral.

O poder calorífico superior foi obtido partindo de aproximadamente 1 g das amostras secas em estufa, por 3 horas a 105°C. As amostras, foram pesadas em uma balança analítica com precisão de $\pm 0,1$ mg, em triplicata. O poder calorífico superior foi determinado pelo equipamento, obtendo-se a média entre as triplicatas, não podendo a diferença entre elas ficar acima de 29 cal/g, conforme a norma determina.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ANÁLISE IMEDIATA

A Tabela 5 apresenta os valores da análise imediata para as amostras das biomassas analisadas de maneira comparativa, com seus respectivos desvios padrão. Os teores de umidade, cinza, voláteis e carbono fixo dos endocarpos do babaçu e do buriti expostos apresentam uma análise precisa e individual nos próximos capítulos.

Tabela 5: Resultados da análise imediata

Matéria Prima	Teor de umidade [%]	Teor de Cinzas [%]	Teor de Voláteis [%]	Teor de Carbono Fixo [%]
Endocarpo Babaçu	7,36 ± 3,36 (bu)	0,70 ± 0,51	81,97 ± 0,37	7,33
Neste Trabalho				
Endocarpo Babaçu	12,00	1,71 ± 0,01	83,40 ± 3,87	15,16 ± 0,64
(TEIXEIRA e MILANEZ, 2003)				
Endocarpo Buriti	17,67 ± 5,05 (bu)	3,07 ± 0,25	81,39 ± 0,70	15,54
Neste Trabalho				
Endocarpo Buriti	9,93 ± 0,16	4,59 ± 0,03	-	-
(BECKER, DAMIANI, <i>et al.</i> , 2014)				
Endocarpo Buriti	9,54 ± 0,19	4,46 ± 0,08	-	-
(RODRIGUES, ARAÚJO, <i>et al.</i> , 2018)				

5.1.1 Teor de Umidade

O teor de umidade, que significa a quantidade de água existente na amostra, foi calculado para os endocarpos do buriti e do babaçu. A Tabela 6 mostra o valor obtido para a umidade das duas amostras neste trabalho e em trabalhos encontrados na literatura.

Tabela 6: Teor de umidade do babaçu e buriti

Matéria Prima	Teor de umidade (%)	Referências
Endocarpo Buriti	21,40 ± 2,16 (bs)	Neste Trabalho
Endocarpo Buriti	17,67 ± 5,05 (bu)	Neste Trabalho
Endocarpo Buriti	9,54 ± 0,19	(RODRIGUES, ARAÚJO, <i>et al.</i> , 2018)
Endocarpo Buriti	9,93 ± 0,16	(BECKER, DAMIANI, <i>et al.</i> , 2014)
Endocarpo Buriti	5,20 ± 0,1	(FREIRE, 2017)
Endocarpo Babaçu	7,95 ± 4,48 (bs)	Neste Trabalho
Endocarpo Babaçu	7,36 ± 3,36 (bu)	Neste Trabalho
Endocarpo Babaçu	12,00	(TEIXEIRA e MILANEZ, 2003)

A umidade das amostras realizadas mostra-se um pouco superior às encontradas na literatura. O buriti e babaçu tiveram a umidade calculada em base seca e base úmida para comparação com a literatura, sendo que as duas amostras apresentaram resultados consideráveis, pois os teores altos de umidade (acima de 30%), podem causar problemas de ignição e de combustão, podem, também, influenciar o comportamento da pirólise e afetar as propriedades físicas e qualidade dos produtos (DEMIRBAS, 2004) (SILVA, 2018).

5.1.2 Teor de Cinzas

As cinzas são constituídas de composto de silício (Si), potássio (K), sódio (Na), enxofre (S), cálcio (Ca), fósforo (P), magnésio (Mg) e ferro (Fe). O teor e sua composição química afetam o comportamento dos processos de conversão

energética quando submetidas a altas temperaturas. (MCKENDRY, 2002) (VASSILEV, BAXTER, *et al.*, 2010).

Valores inferiores para os teores de cinzas indicam um melhor rendimento da biomassa em equipamentos de queima, pois as cinzas são componentes que dificultam os processos de produção energética (VIANA, 2015). A Tabela 7 compara o valor encontrado com os da literatura para os Endocarpos do Buriti e Babaçu.

Tabela 7: Teor de cinzas do babaçu e buriti

Matéria Prima	Teor de Cinzas (%)	Referências
Endocarpo Babaçu	0,70 ± 0,51	Neste Trabalho
Endocarpo Babaçu	1,71 ± 0,01	(TEIXEIRA e MILANEZ, 2003)
Endocarpo Babaçu	1,94	(SILVA, BARRICHELO e BRITO, 1986)
Endocarpo Buriti	3,07 ± 0,25	Neste Trabalho
Endocarpo Buriti	4,60 ± 0,01	(FREIRE, 2017)
Endocarpo Buriti	4,58	(RODRIGUES, 2010)
Endocarpo Buriti	4,46 ± 0,08	(RODRIGUES, ARAÚJO, <i>et al.</i> , 2018)
Endocarpo Buriti	4,59 ± 0,03	(BECKER, DAMIANI, <i>et al.</i> , 2014)

O valor obtido neste trabalho para o teor de cinzas foi inferior aos da literatura em ambas amostras, porém apenas o babaçu demonstrou uma diferença considerável aos encontrados na literatura. Essa baixa concentração torna o babaçu favorável para um bom desempenho em processos de queima, pois quanto menor o teor de cinzas, melhor seu aproveitamento nos processos de produção energética (VIANA, 2015).

5.1.3 Teor de Voláteis

O teor de voláteis obtido neste trabalho foi superior a 80%. A Tabela 8 compara o valor encontrado com os da literatura para os endocarpos do buriti e babaçu.

Tabela 8: Teor de voláteis do babaçu e buriti

Biomassa	Teor de Voláteis (%)	Referências
Endocarpo Babaçu	81,97 ± 0,37	Neste Trabalho
Endocarpo Babaçu	83,40 ± 3,87	(TEIXEIRA e MILANEZ, 2003)
Endocarpo Buriti	81,39 ± 0,70	Neste Trabalho

Foi encontrado elevados teores de voláteis para ambas amostras, e verifica-se que o babaçu é compatível com o encontrado na literatura, e que não foi encontrado teor de voláteis para o endocarpo do buriti na literatura para comparação. Estes valores altos demonstram que grande quantidade de gases combustíveis pode ser liberada a partir do aquecimento das biomassas quando devidamente secas (FLORIANI, 2007). Quanto maior o percentual de material volátil, maior a velocidade de queima (GARCÍA, PIZARRO, *et al.*, 2012).

5.1.4 Teor de Carbono Fixo

Os resultados de carbono fixo obtidos neste trabalho foram valores próximos aos encontrados na literatura para o babaçu. Não foi encontrado resultados de carbono fixo para o buriti na literatura. A Tabela 9 mostra os teores para as amostras trabalhadas, e para as amostras encontradas na literatura.

Tabela 9: Teor de carbono fixo do babaçu e buriti

Biomassa	Teor de Carbono Fixo (%)	Referências
Endocarpo Babaçu	17,33	Neste Trabalho
Endocarpo Babaçu	15,16 ± 0,64	(TEIXEIRA e MILANEZ, 2003)
Endocarpo Buriti	15,54	Neste Trabalho

O percentual de carbono fixo estabelece a quantidade de calor gerado, e quanto maior for este percentual, mais lenta será a queima do combustível (SHIMIZU, HIGA, *et al.*, 2000), portanto, de acordo com a Tabela 8, o babaçu e o buriti são capazes de produzir mais sólidos energéticos (carvão) de queima rápida.

5.2 ANÁLISE QUÍMICA

Os resultados das análises químicas podem ser observados e discutidos de forma aglomerada. As altas porcentagens de lignina para os endocarpos das palmáceas, principalmente do babaçu, chamaram atenção como possíveis fatores de grande influência sobre a produção do carvão, e apresentam grande quantidade de celulose, como pode ser observado na Tabela 10.

Tabela 10: Resultado das análises químicas dos endocarpos de buriti e babaçu

Análise	Endocarpo Babaçu Neste Trabalho	Endocarpo Babaçu (SILVA, BARRICHELO e BRITO, 1986)	Endocarpo Buriti Neste Trabalho	Endocarpo Buriti (RODRIGUES, ARAÚJO, <i>et al.</i>, 2018)
Holocelulose [%]	60,23	64,30	64,71	32,88
Celulose [%]	50,41	-	54,53	22,15
Hemicelulose [%]	9,82	-	11,37	10,73
Lignina Solúvel [%]	1,23	-	1,16	-
Lignina Insolúvel [%]	37,45	-	31,23	-
Lignina Total [%]	38,68	27,90	32,39	11,79

5.3 ANÁLISE TÉRMICA

5.3.1 Termogravimetria e Derivada termogravimétrica

Os ensaios térmicos foram realizados com as amostras de endocarpo do buriti e do babaçu e foram realizados em atmosfera inerte de nitrogênio, pois o objetivo principal era o entendimento do processo de pirólise. As curvas termogravimétricas, direta (TG) e diferencial (DTG), para os endocarpos do babaçu e do buriti, podem ser visualizadas nas Figuras 21 e 22 respectivamente. Para o endocarpo do babaçu a perda de massa total foi de 76,69%, enquanto que para o endocarpo do buriti essa perda foi de 76,21%, ambas em atmosfera inerte de nitrogênio.

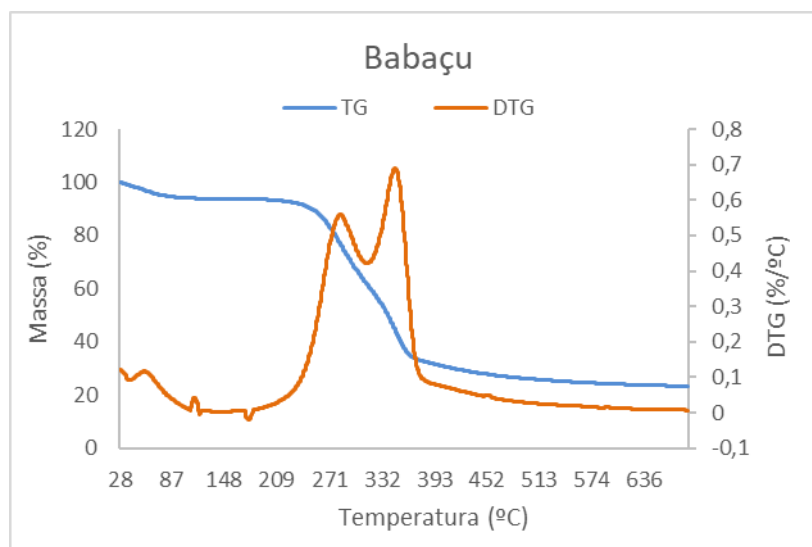


Figura 21: Curvas de TG e DTG do endocarpo do babaçu em atmosfera inerte de nitrogênio.

Fonte: Autoral.

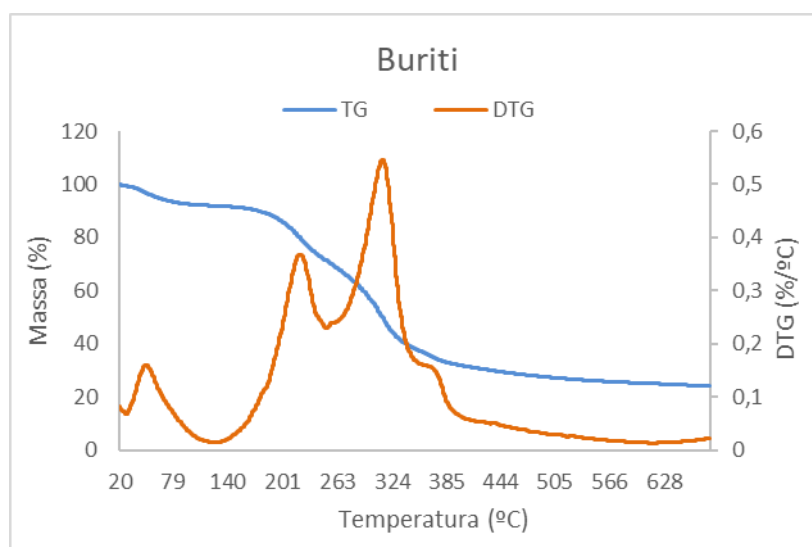


Figura 22: Curvas de TG e DTG do endocarpo do buriti em atmosfera inerte de nitrogênio.

Fonte: Autoral.

A biomassa quando é submetida a elevadas temperaturas (700°C), sofre decomposição térmica dos seus constituintes químicos (hemicelulose, celulose e lignina), pois ocorre o processo de carbonização. Os componentes químicos da biomassa se decompõem em faixas diferentes de temperatura (OLIVEIRA, 1982).

A análise térmica ocorreu para as biomassas até a temperatura de 700°C, mas a decomposição térmica ocorreu de forma variada, conforme os dados expressos na Tabela 11 é possível analisar os comportamentos referentes aos eventos endotérmicos. O comportamento das biomassas durante a análise termogravimétrica representa o somatório de cada um de seus componentes. Nas faixas de decomposição térmica encontradas, além da liberação de CO₂, ocorreram outros eventos como a perda de compostos voláteis e umidade remanescente.

De acordo com a Tabela 11 é possível observar em que faixa de temperatura os eventos ocorreram e quais as respectivas perdas de massa para ambas amostras.

Tabela 11: Degradação das amostras de TG em atmosfera inerte

Faixa de Temperatura [°C]	Variação de massa [%]	Comportamento
Endocarpo do Babaçu		
25 – 75	7	Secagem
100 – 225	1	Liberação de Voláteis
275 – 350	50	Celulose amorfa e cristalina
Endocarpo do Buriti		
40 – 70	7	Secagem
200 – 250	15	Liberação de voláteis e hemicelulose
300 – 325	35	Celulose amorfa e cristalina

De maneira geral o primeiro evento se inicia com perda de umidade, logo em sequência o segundo evento ocorre uma perda de voláteis. O terceiro evento corresponde à degradação da hemicelulose e próximo evento corresponde à degradação da celulose amorfa e cristalina, enquanto que como evento final corresponde à queima da lignina. Não foi possível visualizar a curva de degradação da lignina, porém observa-se uma queda constante de massa até 600°C, temperatura na qual a lignina se degrada (PENEDO-MEDINA, 2016) (OLIVEIRA, 2014). Ao final da curva, tem-se 23,31% de resíduos sólidos restantes para o endocarpo do babaçu e 23,79% para o do buriti, e essa quantia alta está associada principalmente aos produtos finais de decomposição da lignina, que são resíduos carbonáceos formados em atmosfera inerte (OLIVEIRA, 2014).

5.4 PODER CALORÍFICO SUPERIOR

5.4.1 Poder Calorífico Superior

O poder calorífico é uma das variáveis mais importantes quando se trabalha com geração de energia, pois ele é a quantidade de energia na forma de calor que é liberada pela combustão de uma unidade de massa do combustível (QUIRINO, VALE, *et al.*, 2005). Pela análise da Tabela 12 é possível avaliar o potencial energético de cada amostra e comparar com os encontrados na literatura.

Tabela 12: Resultado da análise calorífica para os endocarpos de babaçu e buriti, respectivamente

Biomassa	Poder Calorífico Superior [MJ/Kg]	Referência
Endocarpo Buriti	20,54 ± 0,19%	Neste Trabalho
Endocarpo Buriti	17,50 ± 0,70%	(FREIRE, 2017)
Endocarpo Buriti	27,49 ± 1,64%	(BECKER, DAMIANI, <i>et al.</i> , 2014)
Endocarpo Babaçu	20,32 ± 0,14%	Neste trabalho
Endocarpo Babaçu	19,51	(VIVACQUA FILHO, 1968)
Endocarpo Babaçu	22,69 ± 9,00%	(TEIXEIRA e MILANEZ, 2003)
Endocarpo Babaçu	22,70	(CORTEZ e LORA, 1997)
Epicarpo Babaçu	21,72 ± 0,05%	(TEIXEIRA e MILANEZ, 2003)
Mesocarpo Babaçu	15,52 ± 30,00%	(TEIXEIRA e MILANEZ, 2003)
Serragem de eucalipto	17,34	(VILLETTI, STAHL, <i>et al.</i> , 2004)
Bagaço de cana	17,33	(CORTEZ e LORA, 1997)
Casca de arroz	16,35	(VILLETTI, STAHL, <i>et al.</i> , 2004)
Casca de coco	19,04	(CORTEZ e LORA, 1997)
Caroço de pêssego	15,06	(VILLETTI, STAHL, <i>et al.</i> , 2004)

Essa variável divide-se em: superior, inferior e útil. O Poder Calorífico Superior (PCS) é o processo de combustão ocorre a volume constante e no qual a água formada durante o processo é condensada, e o calor que é derivado desta condensação é recuperado (BRIANE e DOAT, 1985). O Poder Calorífico Inferior (PCI) é a energia disponível por unidade de massa de combustível, após deduzir as perdas com a evaporação da água (LIMA, 2010). O Poder Calorífico Útil (PCU) é a quantidade

de energia liberada pela queima, ou seja, no processo de combustão, considerando a umidade que a biomassa tem no momento da queima (LIMA, 2010). Os PCI e PCU ainda não foram calculados porque a análise de CHN ainda não foi concluída.

Os resultados de poder calorífico superior obtidos foram próximos aos encontrados na literatura para os endocarpos estudados, e demonstram que as palmáceas apresentam capacidade energética parecida e consideravelmente mais atrativa que outras biomassas analisadas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise imediata permitiu a visualização do potencial energético dos endocarpos do buriti e do babaçu. O valor encontrado para o teor de umidade viabiliza sua utilização em processos termoquímicos de conversão de energia como pirólise, combustão e gaseificação, enquanto o teor de cinzas comprovou ser favorável para processos de queima, onde exige-se baixos teores e reforça sua tradição de bom material para fabricação de carvão por ser um gerador de calor de fácil combustão e sólido poroso devido à grande quantidade de lignina. As palmáceas apresentaram elevada velocidade de queima devido ao elevado teor de voláteis.

A análise química indica valores consideráveis para celulose e lignina dos resíduos estudados resultantes que, com teor de lignina de 32,39% para o buriti e 38,68% para o babaçu, apresentam valores relativamente próximos aos da literatura, este teor de lignina fomenta a produção de carvão por ser resistente a temperatura e por manter-se praticamente por completo durante a produção de carvão. O teor de holocelulose de 60,23% para o buriti e 64,71% para o babaçu demonstram uma grande quantidade de celulose com região cristalina e de perda de massa em temperaturas de até 400°C.

Os ensaios de TG representam a perda de massa em função da temperatura enquanto os de DTG representam os eventos endotérmicos especulando os eventos ocorridos. Na carbonização o rendimento máximo é de aproximadamente 32% (para cada quilograma de biomassa é necessário em média 320 g de carvão no final do processo) e a temperatura limite no processo de pirólise é de 370°C. As análises termogravimétricas mostraram as perdas de peso para cada elemento contido na biomassa de acordo com a variação da temperatura. A perda de massa referente à umidade, voláteis, extrativos, hemicelulose e até celulose ocorreu até a temperatura de 325°C para o buriti e 350°C para o babaçu, ou seja, apresentando comportamento favorável para carbonização já que grande parte da massa é liberada com menos de 370°C, além de que obtiveram rendimento final de 23,79% e 23,31%, respectivamente.

O poder calorífico produzido, parâmetro de maior importância na geração de energia por apresentar a quantidade de energia gerada por unidade de massa, foi próximo do esperado, comparado a outras biomassas, para gás produzido na gaseificação utilizando ar atmosférico.

Diante o exposto, verifica-se que as palmáceas apresentam viabilidade de serem utilizadas como matéria-prima para obtenção de carvão no processo de carbonização por meio de pirólise.

7. REFERÊNCIAS

- AGROENERGIA. **macroprograma1**, 2018. Disponível em: <https://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/oleaginosas_potenciais/fotos-1/Babacu.jpg/view>. Acesso em: 21 maio 2018.
- ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). Brasília: ANEEL. 2008. p. 236.
- ANP; MME. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**. Agência Nacional do Petróleo. Rio de Janeiro - RJ: ANP. 2017. p. 263.
- AQUINO, A. F. et al. O etanol da cana de açúcar: possibilidades energéticas da região de Ceará-mirim-RN. **HOLOS**, v. 1, p. 105-125, fevereiro 2014.
- BARBOSA CORTEZ, L. A.; SILVA LORA, E. E.; OLIVARES GÓMEZ,. **Biomassa para energia.indb**. Campinas, SP: Unicamp, 2008.
- BASTOS, V. D. Etanol, alcoolquímica e biorrefinarias. **BNDES Setorial Biblioteca Digital**, Rio de Janeiro, v. 25, p. 5-38, março 2007.
- BECKER, F. S. et al. Incorporation of Buriti Endocarp Flour in Gluten-free Whole Cookies as Potential Source of Dietary Fiber. **Plant Foods Hum Nutr**, Business Media New York 2014, 15 October 2014. 7.
- BORK, J. A. E. A. **Caracterização e avaliação das emissões do uso de lodo sanitário seco como combustível em combustor ciclônico**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, SC: [s.n.]. 2011.
- BRIANE, D.; DOAT, J. Aix-en-Provence, ÉDISUD. **Guide Technique de La Carbonisation: La Fabrication du Charbon de Bois**, 1985.
- BROWING, B. L. The chemistry of wood. **New York: Interscience**, p. 574, 1963.
- BUI, V. N. et al. Co-processing of pyrolysis bio oils and gas oil for new generation of bio-fuels: Hydrodeoxygenation of guaiacol and SRGO mixed feed. **Catalysis Today** **143 (2009) 172–178**, Institut de Recherches sur la Catalyse et l'Environnement (IRCELYON), UMR5256 CNRS Université Lyon 1, 2 Av. A. Einstein, Villeurbanne, France, 20 Janeiro 2009. 7.
- CÂNDIDO, ; SILVA, ; AGOSTINI-COSTA,. Bioactive compounds and antioxidant capacity of buriti (*Mauritia flexuosa* L.f.) from the Cerrado and Amazon biomes. **Food Chemistry** **177 (2015) 313–319**, Universidade Federal de Goiás – UFG (Federal University of Goiás), Faculdade de Nutrição (Faculty of Nutrition), Goiânia, GO, Brazil, 13 Janiero 2015. 7.

CARRAZZA, L. R.; ÁVILA, J. C. C.; SILVA, M. L. **Manual Tecnológico de Aproveitamento Integral do Fruto e da Folha do Babaçu (*Attalea spp.*)**. Brasília – DF: Instituto Sociedade, População e Natureza (ISPN), 2012.

CCEE. CCEE - Câmara De Comercialização De Energia Elétrica. **CCEE - Câmara De Comercialização De Energia Elétrica**, 2017. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/fontes?_afzLoop=54792128564991&_adf.ctrl-state=ol45qzjbu_18#!%40%40%3F_afzLoop%3D54792128564991%26_adf.ctrl-state%3Dol45qzjbu_22>. Acesso em: 2018 junho 2.

CIDADEVERDE. cidadeverde. **Cidade Verde**, 2015. Disponível em: <<https://cidadeverde.com/vida/70554/as-multi-propriedades-da-farinha-de-babacu>>. Acesso em: 20 maio 2018.

CNI. **MATRIZ ENERGÉTICA: Cenários, Oportunidades e Desafios**. Confederação Nacional da Indústria. Brasília: [s.n.]. 2007. p. 11-82.

CONSUEGRA, A. D. S. A. Cinética da gaseificação do bagaço de laranja e serragem. Florianópolis: UFSC. Tese de doutorado, Universidade Federal, 2013.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. S. **Tecnologias de Conversão Energética da Biomassa**, EDUA/FEI: Manaus, Série Sistemas Energéticos, 1997.

COSTA MACHADO, G.; PAES CHAVES, J. B.; ANTONIASSI, R. Composição Em Ácidos Graxos E Caracterização Física E Química De Óleos Hidrogenados De Coco Babaçu. **Revista Ceres**, Universidade Federal de Viçosa, Brasil, v. 53, n. 308, p. 463-470, julho-agosto 2006.

COSTA, B. P. D. Monografia de Graduação, Universidade de Brasília. **Uso do bagaço do cajuzinho-do-cerrado (*Anacardium Humile*) para obtenção de etanol de segunda geração**, Brasília, DF, 2017.

DEMIRBAS, A. **Combustion characteristics of different biomass fuels**. [S.l.]: Progress in energy and combustion science, Elsevier. 2004.

DEMIRBAS, A. **Effect of initial moisture content on the yields of oily products from pyrolysis of biomass**. [S.l.]: Journal of analytical and applied pyrolysis, Elsevier. 2004.

EPE; MME. **Demanda de Energia 2050**. Estudos Da Demanda De Energia. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética. 2014. p. 245.

FLORIANI, S. L. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Catarina. **Potencial de resíduos sólidos industriais como fonte de energia e avaliação das emissões gasosas em combustor em escala piloto**, Florianópolis, 2007.

FONTES, L. **Desenvolvimento de uma unidade pirolítica com reator de cilindro rotativo: Obtenção de Bio-óleo**. UFRN. Natal - RN. 2011.

FREIRE, J. A. P. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Piauí.

CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL, POTENCIAL QUIMIOPREVENTIVO E TOXICIDADE DE *Mauritia flexuosa* (BURITI): INCENTIVO À BIOTECNOLOGIA SUSTENTÁVEL E BIOPROSPECÇÃO DE FRUTOS REGIONAIS, Teresina, Piauí, 2017.

FREIRE, J. A. P. et al. Phytochemistry Profile, Nutritional Properties and Pharmacological Activities of *Mauritia flexuosa*. **Journal of Food Sciencer**, v. 81, n. 11, p. 13, Concise Reviews in Food Science 2016.

GARCÍA, R. et al. Bioresource technology, Elsevier. **Characterization of spanish biomass wastes for energy use**, 2012.

GOMIDE, J. L.; DEMUNER, E. B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O Papel**, 1986.

HASSAN, S.S.; WILLIAMS, G.A.; JAISWAL, A.K. Emerging Technologies for the Pretreatment of Lignocellulosic Biomass. **Bioresource Technology (2018)**, School of Biological Sciences, College of Sciences and Health, Dublin Institute of Technology, Kevin Street, Dublin 8, Republic of Ireland., 24 Abril 2018. 40.

HORST, D. J. **Avaliação da produção energética a partir de ligninas contidas em biomassas**. Universidade Tecnológica Federal Do Paraná. Ponta Grossa, PR. 2013.

HOSOKAI, et al. Reforming of Volatiles from the Biomass Pyrolysis over Charcoal in a Sequence of Coke Deposition and Steam Gasification of Coke. **Energy & Fuels**, Center for Advanced Research of Energy Conversion Materials, Hokkaido University, N13 W8, Kita-ku, Sapporo, Japan, 2011.

HUGHES, S. R. et al. Sustainable conversion of coffee and other crop wastes to biofuels and bioproducts using coupled biochemical and thermochemical processes in a multi-stage biorefinery concept. **Appl Microbiol Biotechnol (2014) 98:8413–8431**, USA, 11 Setembro 2014.

KATYAL, S.; THAMBIMUTHU, K.; VALIX, M. Carbonisation of bagasse in a fixed bed reactor: influence of process variables on char yield and characteristics. **Renewable Energy, Elsevier**, 2003.

KENNEDY, F.; PHILLIPS, G. O.; WILLIAMS, E. P. A. Wood and Cellulosics: Industrial Utilization, Biotechnology, Structure and Properties. **Ellis Horwood**, 1987.

LIMA, A. E. Comunicado técnico Embrapa, Colombo. **Alternativa para Estimar o Preço da Madeira para Energia**, Paraná, dezembro 2010.

LIMA, E. E. D. et al. Produção de etanol de segunda geração proveniente do bagaço de pendúculos do caju. **Revista Caatinga - Universidade Federal Rural do Semi-Árido**, 2015.

MAIA, B. A. D. A. **Política de inovação do etanol celulósico**. Instituto de Economia da Universidade Federal Do Rio do Janeiro - UFRJ. Rio de Janeiro. 2010.

MATTEI, L. F. PROGRAMA NACIONAL PARA PRODUÇÃO E USO DO BIODIESEL NO BRASIL (PNPB): TRAJETÓRIA, SITUAÇÃO ATUAL E DESAFIOS, FLORIANOPOLIS - SC, 2010.

MCKENDRY, P. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. [S.l.]: Bioresource, technology, Elsevier, 2002.

MELO, W. D. S. et al. Comportamento higroscópico do buriti (*Mauritia flexuosa*). **Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, 31(4): 935-940**, Belém, PA, Brazil, 4 set. 2011.

MME; EPE. **Matriz Energética Nacional 2030**. Brasília: Eletrobrás, 2007. 254 p.

MME; EPE. **Balanco Energético Nacional**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2015.

MORAIS, M. R.; SEYE, O.; FREITAS, K. T. D. Obtenção de briquetes de carvão vegetal de cascas de arroz utilizando baixa pressão de compactação. [S.l.]: SciELO Brasil, 2006.

NBR 8112. **Carvão vegetal - Análise imediata - Método de ensaio**. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. 1986.

NBR ISO 1928. **Solid mineral fuels -- Determination of gross calorific value by the bomb calorimetric method and calculation of net calorific value**. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ISO/TC 27 Solid mineral fuels. Sistemas de Gestão da Qualidade. Rio de Janeiro, p. 59. 2009.

NICOLAE SCARLAT et al. An overview of the biomass resource potential of Norway for bioenergy use. **N. Scarlat et al. / Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (2011) 3388– 3398**, European Commission, Joint Research Centre, Institute for Energy, Via E. Fermi 2749, TP 450, 21027 Ispra (Va), Italy, 11 Abril 2011.

NOGUEIRA, M. F.; RENDEIRO, G. Caracterização energética da biomassa vegetal. Combustão e Gaseificação da Biomassa Sólida: Soluções Energéticas para a Amazônia. Brasília: Ministério de Minas e Energia: [s.n.], 2008.

OLIVEIRA, C. M. Departamento de Engenharia Química. **Integração energética da biorrefinaria de cana-de-açúcar para produção de etanol de primeira e segunda geração e energia elétrica**, São Carlos, 2014.

OLIVEIRA, J. B. CETEC – Centro Tecnológico de Minas Gerais. **Propriedades e Controle de Qualidade do Carvão Vegetal**, Belo Horizonte, MG, 1982.

PACHECO, J. R. Integração de processos físico-químicos e oxidativos avançados para remediação de percolado de aterro sanitário (chorume). **Eng. sanit. ambient.**, v. 9, n. 4, p. 306-311, out/dez 2004.

PAULA, L. E. D. R. et al. Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. **Cerne, SciELO Brasil**, 2011.

PENEDO-MEDINA, M. Química Tecnológica. **Análisis termogravimétrico y térmico diferencial de diferentes biomásas vegetales**, 2016.

PEREIRA, B. L. C. et al. Estudo da Degradação Térmica da Madeira de Eucalyptus Através de Termogravimetria e Calorimetria. **Revista Árvore**, 2013.

PIACENTE, E. A. **Perspectivas do Brasil no Mercado Internacional de Etanol**. Faculdade De Engenharia Mecânica da Universidade Estadual De Campinas. Campinas - SP. 2006.

PINTO, L. F. et al. Determinação do teor de umidade e lipídios de diferentes oleaginosas típicas do nordeste brasileiro para a produção de biodiesel, Brasil.

QUIRINO, W. F. et al. **Poder Calorífico da Madeira e de Materiais Lignocelulósicos**. **Revista da Madeira**, 2005.

ROCHA, J. D. et al. AVALIAÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEL DERIVADO DO BIO-ÓLEO OBTIDO POR PIRÓLISE RÁPIDA DE BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA COMO ADITIVO PARA GASOLINA. **Quim. Nova**, Vol. 33, No. 4, 781-786, 2010, Londrina - PR, 26 mar. 2010.

RODRIGUES, B. S. Tese de Mestrado. **Aproveitamento energético de biomassas residuais florestais do cerrado para produção de gás de síntese por meio do processo de gaseificação**, Piracicaba ,SP, 2010. 98.

RODRIGUES, P. R. et al. Peer J. **Evaluation of buriti endocarp as lignocellulosic substrate for second generation ethanol production**, Minas Gerais, Brazil, 2 August 2018.

S. PAUL, A. DUTTA. Challenges and opportunities of lignocellulosic biomass for anaerobic digestion. **Resources, Conservation & Recycling 130 (2018) 164–174**, School of Engineering, University of Guelph, Ontário, Canadá, 2017.

SANTOS, F. A. et al. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **SciELO Analytics Quím. Nova vol.35 no.5 São Paulo 2012**, Universidade Federal de Viçosa, Av. Peter Henry Rolfs, s/n, 36570-000 Viçosa – MG, Brasil, 2012. 19.

SAUER, I. **Biocombustíveis no Brasil: Comercialização e Logística**. São Paulo: Doutor em Energia nuclear. Professor da USP. Diretor de Gás e Energia da Petrobrás. 2007.

SHIMIZU, J. Y. et al. **Características da Madeira de Algumas Espécies de Eucalipto Plantadas no Brasil**, Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113p.

SILVA, B. H. D. Monografia de Graduação, Universidade de Brasília. **Caracterização do bagaço do cajuzinho-do-cerrado e sua utilização para obtenção de etanol**, Brasília, DF, Julho 2018. 56.

SILVA, J. D. C. E.; BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. Depto. de Ciências Florestais. **ENDOCARPOS DE BABAÇU E DE MACAÚBA COMPARADOS A MADEIRA DE Eucalyptus grandis PARA A PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL**, Piracicaba - SP, Dezembro 1986.

SILVA, J. N.; SOBRINHO, J. C.; SAIKI, E. T. Utilização de biomassa na secagem de produtos agrícolas via gaseificação com combustão adjacente dos gases produzidos. **Engenharia Agrícola, SciELO Brasil**, 2004.

TATAGIBA, F. biólogo. **Plantas do Cerrado**, 28 maio 2018. Disponível em: <<http://www.biologo.com.br/plantas/cerrado/buriti.html>>. Acesso em: 21 maio 2018.

TAVARES, P. T. Caracterizações física e química de resíduos sólidos da cajucultura e avaliação do potencial energético em processos de conversão térmica, Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal da Paraíba, Centro de Energias Alternativas e Renováveis, Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis, João Pessoa, PB, 2016.

TEIXEIRA, M. A.; MILANEZ, L. F. Caracterização Energética do Babaçu e Análise do Potencial de Cogeração. **Tese de Doutorado**, São Paulo, Departamento de Energia - FEM- UNICAMP, 2 Agosto 2003. 192.

TOLMASQUIM, M. T. **Energia Renovavel; Hidraulica, Biomassa, Eolica, Solar, Oceanica**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2016.

VASSILEV, S. V. et al. Fuel, Elsevier. **An overview of the chemical composition of biomass**, 2010. 913–933.

VIANA, N. A. Tese de Mestrado na Universidade de Brasília. **Aproveitamento energético de biomassas residuais florestais do cerrado para produção de gás de síntese por meio do processo de gaseificação**, Brasília - DF, 2015. 174.

VIEIRA, G. E. G. et al. **Aplicação De Processo Termoquímico Como Aproveitamento De Resíduo Agroindustrial De Babaçu**. COBEQ - Congresso Brasileiro De Engenharia Química. Florianópolis - SC. 2014.

VILLETTI, M. A. et al. Grupo de Ciência dos Materiais. **Poder calorífico da casca de arroz, caroço de pêssego, serragem de eucalipto e de seus produtos de pirólise**, Departamento de Química -UFSM, 2004.

VIRMOND, E. et al. Characterisation of agroindustrial solid residues as biofuels and potential application in thermochemical processes. [S.l.]: Waste Management, Elsevier, 2012.

VIVACQUA FILHO, A. **Babaçu, Aspectos Sócios - Econômicos e Tecnológicos**. , Brasília - DF, Universidade de Brasília, 1968. 217p.

WERTHER, J. et al. Combustion of agricultural residues. Progress in energy and combustion. **science, Elsevier**, 2000.

ZABANIOTOU, V. S. A. Fe catalysis for lignocellulosic biomass conversion to fuels and materials via thermochemical processes. **Catalysis Today 196 (2012) 56– 66**, Aristotle University of Thessaloniki, Department of Chemical Engineering, University, University Campus, Thessaloniki, Greece, 18 Abriel 2012.

ZHANG, L. Overview of recent advances in thermo-chemical conversion of Biomass.
[S.l.]: [s.n.], 2010.